

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Telekomunikační techniky

Měření služby Triple Play
v síti GePON

Measurement of Triple Play service
in GePON Network

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání bakalářské práce

Student:

Tomáš Rainet

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601R013 Telekomunikační technika

Téma:

Měření služby triple play v síti GePON
Measurement of Triple Play Service in GePON Network

Zásady pro vypracování:

1. Popis optické přístupové sítě GePON.
2. Teoretický úvod do služby triple play.
3. Realizace a měření služby triple play v síti GePON.
4. Tvorba nové laboratorní úlohy pro měření služby triple play.
5. Závěr a vyhodnocení naměřených dat.

Seznam doporučené odborné literatury:

MA, Maode. *Current Research Progress of Optical Networks*. 1st Edition. [s.l.] : Springer, 2009. 282 p. ISBN 978-1402098888.

LAM, Cedric. *Passive Optical Networks: Principles and practice*. Oxford : Elsevier Onc., 2007. 324 p. ISBN 978-0-12-373853-0.

DHAINI, Ahmad R. *Next-Generation Passive Optical Networks*. Saarbrücken : VDM Verlag, 2008. 132 p. ISBN 978-3836435062.

CHOMYCZ, Bob. *Planning Fiber Optic Networks*. 1st Edition. New York : McGraw-Hill Professional, [June 18, 2009]. 400 p. ISBN 978-0-07-164269-9, MHID: 0-07-164269-2.

HENS, Francisco J.; CABALLERO, José M. *Triple Play : Building the converged network for IP, VoIP and IPTV (Telecoms Explained)*. 1st Edition. New York : John Willey & Sons, 2008. 416 p. ISBN 978-0-470-75367-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Látal**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 04.05.2012

prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 4.5.2012

Tomáš Kaimert

Podpis

Poděkování

Rád by jsem poděkoval panu Ing. Janu Látalovi, Ing. Petru Šiškovy, Ph.D a v neposlední řadě panu Ing. Petrovi Koudelkovi za ochotu a poskytování odborných rad při tvorbě mé bakalářské práce. Dále chci znovu poděkovat Ing. Janovi Látalovi za vedení a umožnění přístupu do laboratoře optických sítí.

Abstrakt

Tento projekt se soustředí na popis pasivní optické sítě GePON, definici a integritu triple play služeb. Hlavním cílem této práce je vytvoření úlohy na měření triple play v rámci této sítě. V tomto dokumentu je popsána metodika RFC2544 a EtherSAM měření. Jako produkt této studie je laboratorní dokumentace s teoretickým úvodem, návod na konfiguraci sítě, pokyny pro RFC 2544 a EtherSAM měření a závěr s analýzou naměřených dat.

Klíčová slova

Triple Play, GePON, VoIP, IPTV, FTP, ONU, OLT, ODN, RFC 2544, EtherSAM, QoS

Abstract

This project concentrated on describing passive GePON optical networks, the definition and integrity of triple play services. The main aim of this work was the creation and measurement of triple play within this network. Within this document the methodology for RFC2544 and EtherSAM measurement is described. As product of this study entails a laboratory documentation with a theoretical introduction, instructions for the configuration of networks, instructions for RFC 2544 and EtherSAM measurement, and a working conclusion with an analysis of measured data.

Keywords

Triple Play, GePON, VoIP, IPTV, FTP, ONU, OLT, ODN, RFC 2544, EtherSAM, QoS,

Seznam Obrázků

| | |
|---|----|
| Obr.: 1 Standardní Ethernet rámec | 5 |
| Obr.: 2 emulace typu bod-bod [5] | 6 |
| Obr.: 3 Emulace bod-více bodů [5] | 6 |
| Obr.: 4 TDM-PON struktura | 8 |
| Obr.: 5 Druhy topologií | 9 |
| Obr.: 6 Architektura Ethernet vrstvy v EPON [2] | 10 |
| Obr.: 7 Jednotka MPCPDU | 13 |
| Obr.: 8 Autodiscovery proces | 14 |
| Obr.: 9 Nastavení VLC č. 1 | 26 |
| Obr.: 10 Nastavení VLC č. 2 | 27 |
| Obr.: 11 Nastavení VLC č. 3 | 27 |
| Obr.: 12 Nastavení VLC č. 4 | 28 |
| Obr.: 13 Nastavení VLC č. 5 | 28 |
| Obr.: 14 Nastavení VLC č. 6 | 29 |
| Obr.: 15 Nastavení VLC č. 4 | 29 |
| Obr.: 16 Nastavení FTP č. 1 | 31 |
| Obr.: 17 Nastavení FTP č. 2 | 31 |
| Obr.: 18 Topologie sítě | 38 |
| Obr.: 19 MiniMAP 9102 | 39 |
| Obr.: 20 Rozbočovač | 39 |
| Obr.: 21 Vyvedení pracovišť v racku | 39 |
| Obr.: 22 Mediakonvertor AT-ON1000 | 40 |
| Obr.: 23 Měřicí přístroj EXFO ASX 200/850 | 41 |
| Obr.: 24 Měřicí přístroj AXFO FTB-1/860 NetBlazer | 41 |
| Obr.: 25 Kontrola nastavení OLT EtherSAM | 43 |
| Obr.: 26 Kontrola nastavení OLT VIDEO | 43 |
| Obr.: 27 Kontrola nastavení OLT DATA | 44 |
| Obr.: 28 Kontrola nastavení OLT DATA | 44 |
| Obr.: 29 Nastavení EXFO AXS 200/850 č.1 | 45 |
| Obr.: 30 Nastavení EXFO AXS 200/850 č.1 | 46 |
| Obr.: 31 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 1 | 47 |
| Obr.: 32 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 2 | 47 |
| Obr.: 33 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 3 | 48 |
| Obr.: 34 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 4 | 48 |

| | |
|---|----|
| Obr.: 35 Nastavení EXFO FTB-1/86O č. 5..... | 49 |
| Obr.: 36 Nastavení EXFO FTB-1/86O č. 6..... | 49 |
| Obr.: 37 Nastavení EXFO FTB-1/86O č. 7..... | 50 |
| Obr.: 38 Propustnost VoIP | 55 |
| Obr.: 39 Zatížitelnost VoIP | 56 |
| Obr.: 40 Ztráta rámců VoIP..... | 56 |
| Obr.: 41 : Maximální zpoždění VoIP | 57 |
| Obr.: 42 Propustnost VIDEO | 58 |
| Obr.: 43 Zatížitelnost VIDEO | 58 |
| Obr.: 44 Ztráta rámců VoIP..... | 59 |
| Obr.: 45 : Maximální zpoždění VIDEO | 59 |
| Obr.: 46 Propustnost DATA..... | 60 |
| Obr.: 47 Zatížitelnost DATA | 61 |
| Obr.: 48 Ztráta rámců DATA..... | 61 |
| Obr.: 49 Maximální zpoždění DATA | 62 |

Seznam Tabulek

| | |
|---|----|
| Tab. 1: Mos a R-Faktor | 17 |
| Tab. 2: Nastavení subtest na EXFO FTB-1/86O pro DATA..... | 50 |
| Tab. 3: Nastavení subtest na EXFO FTB-1/86O pro VIDEO..... | 51 |
| Tab. 4: Nastavení subtest na EXFO FTB-1/86O pro VOICE..... | 51 |
| Tab. 5: Výsledné hodnoty testu konfigurace služeb EtherSAM..... | 53 |
| Tab. 6: Výsledné hodnoty testu výkonu služeb EtherSAM..... | 54 |
| Tab. 7: Naměřené hodnoty RFC 2544 VoIP..... | 55 |
| Tab. 8: Naměřené hodnoty RFC 2544 VIDEO..... | 57 |
| Tab. 9: Naměřené hodnoty RFC 2544 DATA..... | 60 |

Seznam použitých symbolů a zkratek

| | |
|----------------|--|
| 10G-EPON..... | 10 Gbps Ethernet pasivní optická síť |
| ADPCM | Adaptivní Pulzně Kódová Modulace |
| AON | Aktivní Optická síť |
| ATM..... | Asynchronní transportní modul |
| ATM | PON Pasivní Optická Síť využívající ATM |
| BASE-T | IEEE 802.3ab standard |
| BER | Bitová chybovost |
| BPON | standard ITU-T G.983 |
| CIR | Informace zavazující Rychlost |
| CMOS | integrovaný obvod |
| CRC | Cyklický Redundantní Součet |
| CWDM..... | Hrubé Dělení Multiplexu |
| DiffSery | Diferencované Služby |
| DTMF..... | Detekce Tónové Volby |
| EIR..... | Poměr Nadbytku Informací |
| EPON | Ethernet Pasivní Optická Síť |
| FDM..... | Frekvenční Multiplex |
| FEC | Zpětná Bitová Korekce |
| FTP | Protokol pro Přenos Souborů |
| FTTB | Vlákno Přivedené Do Budovy |
| FTTC | Vlákno Přivedené Do Skříně |
| FTTH..... | Vlákno Přivedené Do Domu |
| FTTN..... | Vlákno Přivedené Do Uzu |
| FTTP | Vlákno Přivedené Do Místnosti |
| GATE..... | Brána |
| GEM..... | Datové Zapouzdření |
| GePON | Gigabitová Ethernet |
| Pasivní | Optická Síť |
| GMII | Gigabitové Rozhraní Závislé na Médii |
| GPON | GEM Pasivní Optická Síť |
| CLI | Příkazový řádek |
| DAHDI..... | Rozhraní Aterisku |
| ETH..... | Ethernet Rozhraní |
| GPL | Všeobecná Veřejná Licence |
| HDTV | Vysoká Ostrost Televizního Vysílání |
| IAX..... | Protokol Asterisku |
| IGMP | Protokol na Podporu Multicastu |
| IntSery..... | Integrované Služby |
| IP | Internet Prtocol |
| IPTV | Televize Přes Internetový Protokol |
| ISDN | Digitální síť integrovaných služeb |
| ISDN BRI | Základní Přístup na Digitální síť integrovaných služeb |

| | |
|--------------|---|
| ISP | Internetový Poskytovatel |
| LAN | Lokální Síť |
| LLID | Linkový Logický Identifikátor EPON sítí |
| LPC..... | Predikátové Linkové Kódování |
| MAC | Identifikátor Síťového Zařízení |
| MII..... | Rozhraní Závislé na Médiu |
| MOS | Faktor určující kvalitu hovoru |
| MPCP | Protokol na řízení toku typu Multipoint |
| MPCPDU..... | Jednotka Protokolu na řízení toku typu Multipoint |
| MPEG | Kodek na zpracování videa |
| MPEG-2..... | Kodek na zpracování videa |
| MPEG-4 | Kodek na zpracování videa |
| MPMC | Paměť na řízení Multiportů |
| NAT | Překladač Síťových Adres |
| NT | Síťový Terminál |
| OAM | Sada funkcí na monitorování síťových operací |
| OAN | Otevřená Architektura sítě |
| ODN | Optická Distribuční Síť |
| OLT | Optický Linkový Terminál |
| ONT | Optický Síťový Terminál |
| ONU..... | Optická Síťová Jednotka |
| ONU ID..... | Identifikátor Optické Síťové Jednotky |
| OS | Operační Systém |
| OSI | Referenční model Propojených Otevřených Systémů |
| P2MP | Hierarchie bod-více bodů |
| P2P | Hierarchie bod-bod |
| PBX | Pobočková Ústředna |
| PC | Osobní Počítač |
| PCM..... | Pulzně kódová modulace |
| PDU | Protokol Datových Jednotek |
| PMD | Vrstva určující fyzikální vlastnosti optických přijímačů |
| PMDP | Jednotka vrstvy určující fyzikální vlastnosti optických přijímačů |
| PON..... | Pasivní Optická Síť |
| POTS | Obyčejné telefonní služby |
| PSTN..... | Veřejná Komutovaná Telefonní Síť |
| QoS | Kvalita Služeb |
| RSVP | Protokol integrovaných služeb u QoS |
| RTP | Transportní protokol v reálném čase |
| RTSP | Transportní stream protokol v reálném čase |
| SCM..... | Multiplex subnosné |
| SCMA | Přístup subnosného multiplexu |
| SDH | Synchronní Digitální Hierarchie |
| SDM..... | Multiplex Prostorového Dělení |
| SFD | Oddělovač Start Rámce |

| | |
|------------|--------------------------------------|
| SIP..... | Protokol pro Navazování Relací |
| SLA | Dohoda o úrovni poskytovaných služeb |
| SS7..... | Signalizační systém |
| TCP | Protokol Kontroly Přenosu |
| TDM..... | Časový Multiplex |
| TDMA | Přístup časového multiplexu |
| TOS..... | Identifikátor typu služby |
| UDP | Protokol Uživatelských Datagramů |
| VLAN | Virtuální Lokální Síť |
| VoD | Video na Požádání |
| VoIP | Hlas přes IP síť |
| WDM | Vlnový Multiplex |

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Optické přístupové sítě..... | 1 |
| 1.1 | Úvod..... | 1 |
| 1.2 | Popis..... | 1 |
| 1.3 | Historie a budoucnost OAN | 2 |
| 2 | Popis optické přístupové sítě GePON | 4 |
| 2.1 | Rámec Ethernet | 4 |
| 2.2 | Time Division Duplex..... | 5 |
| 2.3 | Topologie PON sítě..... | 5 |
| 2.4 | BURST režim..... | 7 |
| 2.5 | Standardní komerční využití TDM-PON struktury..... | 7 |
| 2.6 | Poměr dělení..... | 8 |
| 2.7 | Architektura dělení..... | 9 |
| 2.8 | Architektura Ethernet vrstvy v EPON..... | 10 |
| 2.9 | EPON PMD vrstva..... | 11 |
| 2.10 | Burst režim a smyčky časování v EPON..... | 11 |
| 2.11 | PCS vrstva a zpětná bitová korekce FEC (forward error correction)..... | 12 |
| 2.12 | Multipoint Control Protocol (MPCP)..... | 12 |
| 2.13 | Multipoint Control Protocol Data Unit (MPCPDU) | 12 |
| 2.14 | Autodiscovery proces v EPON a ONU | 13 |
| 2.15 | Útlum..... | 14 |
| 2.16 | Bezpečnost | 14 |
| 3 | Teoretický úvod do služby Triple Play | 15 |
| 3.1 | VoIP | 15 |
| 3.1.1 | Kódování | 15 |
| 3.1.2 | Průběhové kodeky | 16 |
| 3.1.3 | Zdrojové kodekery neboli vokodéry | 16 |
| 3.1.4 | Hybridní kodeky..... | 16 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1.5 | MOS a R-Faktor | 17 |
| 3.2 | IPTV | 18 |
| 3.2.1 | VoD | 18 |
| 3.2.2 | UDP Protokol | 18 |
| 3.2.3 | Multicast..... | 19 |
| 3.3 | Server FTP | 19 |
| 3.3.1 | FTP - přenos dat | 19 |
| 3.3.2 | Aktivní režim..... | 20 |
| 3.3.3 | Pasivní režim | 20 |
| 4 | Kvalita služeb QoS..... | 21 |
| 4.1 | Řešení QoS..... | 21 |
| 4.1.1 | Best effort a TOS rating | 21 |
| 4.1.2 | Integrované služby - IntServ | 21 |
| 4.1.3 | Differentiated services -DiffServ | 21 |
| 4.2 | Policing a shaping | 22 |
| 4.2.1 | Policing | 22 |
| 4.2.2 | Shaping..... | 22 |
| 5 | Metoda měření RFC 2544..... | 23 |
| 5.1 | Test propustnosti | 23 |
| 5.2 | Ztrátovost | 23 |
| 5.3 | Zatížitelnost..... | 23 |
| 5.4 | Zpoždění..... | 23 |
| 6 | Metoda měření pomocí ITU-T Y.1564 EtherSAM | 24 |
| 7 | Konfigurace služeb Triple Play | 25 |
| 7.1 | VLC stream server | 25 |
| 7.1.1 | Podporované kodeky | 25 |
| 7.1.2 | Multiplexory..... | 26 |
| 7.1.3 | Nastavení VLC stream serveru..... | 26 |

| | | |
|-------|---|----|
| 7.2 | Server GADMIN ProFTPD..... | 30 |
| 7.2.1 | Nastavení serveru | 30 |
| 7.3 | Asterisk | 32 |
| 7.3.1 | Kodeky a protokoly | 32 |
| 7.3.2 | Instalace a konfigurace Asterixu | 33 |
| 7.4 | Integrace služeb triple play na OLT | 35 |
| 8 | Měření služby triple play v síti GePON | 38 |
| 8.1 | Topologie sítě..... | 38 |
| 8.2 | Seznámení s komponenty a měřicími přístroji..... | 39 |
| 8.3 | Konfigurace OLT | 42 |
| 8.4 | Nastavení měřících přístrojů | 45 |
| 8.5 | Průběh měření v bodech..... | 52 |
| 8.6 | Naměřené hodnoty | 53 |
| 8.6.1 | Měření EtherSAM..... | 53 |
| 8.6.2 | Měření RFC 2544..... | 54 |
| 8.6.3 | Závěr měření | 62 |
| 9 | Tvorba nové laboratorní úlohy pro měření Triple Play..... | 63 |
| 10 | Závěr | 64 |
| 11 | Literatura a použité zdroje..... | 66 |

1 Optické přístupové sítě

1.1 Úvod

Vzhledem ke zvyšujícím se nárokům koncových uživatelů na přenosové rychlosti, kteří požadují až stovky Mbit/s, bylo nutné navýšit přenosovou kapacitu. Proto se jeví technologie optického přenosu dat jako další logický krok. [1]

1.2 Popis

Strategičtí zákazníci, velké korporace či obchodní centra, mohou být připojeni separátním optickým spojem nebo tvoří vyšší úroveň přístupu, například v metropolitních sítích. Tyto sítě můžeme dále vylepšovat a upravovat tím, že využijeme aktivních prvků, jako optických zesilovačů, digitálních přepínačů a SDH multiplexorů, či vlnově dělené DWDM systémy s transpondéry, DWDM multiplexory a optické propojovače (cross-connect). U těchto aktivních optických sítí AON se využívá topologie aktivní hvězda, kde jednotlivé optické trasy jsou ukončené v distribučním uzlu, či topologie jako SDH kruhová síť. Další možností je využití pasivních optických sítí PON. [1]

V optických přístupových sítích OAN se využívá síťové rozhraní mezi telekomunikačními službami a přístupovou sítí optické linkové zakončení OLT. Ukončující jednotky ONU slouží jako rozhraní mezi přístupovou sítí a koncovými zařízeními účastníků, kde může navazovat síťové zakončení NT. Mezi OLT a ONU, popř. ONT vede optická distribuční síť ODN (sváry, spojky, rozbočovače, optická vlákna).

Základní architektury optických sítí rozdělujeme podle toho, kde je umístěna ukončující jednotka ONU. Tyto architektury spadají pod termín „Fibre To The X“, přičemž X udává místo, kde leží ONU jednotka. FTTN (Fibre To The Node) znamená, že ONU je umístěna v uzlu vzdáleném až několik kilometrů od účastníka. Architektura FTTC (Fibre To The Cabinet) nám říká, že ONU je do vzdálenosti 300 m od uživatele. FTTB (Fibre To The Building) pak udává, kde je vlákno zakončeno v budově a kde signál je dále distribuován metalickým vedením. Další architektura FTTH (Fibre To The Home) značí, kde je optika přivedená až do domu. Jako poslední architektura se udává FTTP (Fibre To The Premises), která souhrnně obsahuje FTTH a FTTB.

Většinou se tento termín využívá při situaci, kdy je z optického koncového uzlu rozvod metalického vedení přiváděn do obytných domů a menších firem. [2]

Jelikož je potřeba duplexního provozu v přístupové síti, je v OAN řešen buď simplexním dělením SDM (Space Division Multiplex), kde pro každý směr je využito jedno vlákno, nebo duplexní vlnové dělení WDM (Wave Division Multiplex), kde je využito jedno vlákno, po kterém je vzestupný a sestupný směr oddělen rozdílnými vlnovými délkami. Jeden signál je v oblasti 1550 nm a druhý ve 1310 nm. Jako další možnost je duplexní frekvenční dělení FDM (Frequency Division Multiplex), kde zůstává jedna vlnová délka na jednom vláknu a provoz je oddělen frekvenčně. U optických sítí je pro tento multiplex zaveden název SCM (SubCarrier Multiplexing). Často bývá v sestupném směru využíváno duplexní dělení časové TDM (Time Division Multiplexing). Tyto poslední dva způsoby, SCM a FDM, bývají nejčastěji využívány v sestupném směru, stejně jako jejich ekvivalenty TDMA (Time Division Multiple Access) a SCMA (SubCarrier Multiple Access) přístupy ve vzestupném směru. Využívají se i kombinace těchto možností uspořádání multiplexování SCM/TDMA nebo TDM/SCMA. [1]

1.3 Historie a budoucnost OAN

V roce 1998 bylo standardizováno doporučení ITU-T G.983 mezinárodním telekomunikačním úřadem ITU formát APON (ATM PON). Bylo založeno na asynchronním transportním způsobu přenosu dat při použití buněk místo paketů, který byl schopen přenést 622,08 Mbps pro sestupný směr a 155,52 Mbps pro vzestupný směr. Nástupce tohoto formátu byl v roce 2001 sestaven standard ITU-T G.983 BPON, který rozšiřuje standard APON o vlnový multiplex a dynamickou alokaci pásma ve vzestupném směru. Další nadstavbou optických sítí se dle standardu ITU-T G.984 stal standard GPON, který byl schválen v roce 2003. Tento standard má lepší zabezpečení, má vyšší rychlosti (do 2488,32 Mbps) a podporuje datové zapouzdření do GEM rámců. V roce 2004 byl vydán standard IEEE 802.3ah, neboli GePON. Tato varianta je zatím nejvíce rozšířená a je často nasazována díky využívání Ethernet rámců na spojové vrstvě modelu OSI. V září 2009 byl představen další vývojový stupeň dle standardu IEEE 802.3av 10G-EPON, který zvyšuje přenosové rychlosti až na 10 Gbps a je zpětně kompatibilní s předchozí verzí GePON.

V roce 2009, a zejména 2010, se objevily první informace o nově specifikované pasivní optické síti dle ITU-T, která navazuje na původní variantu GPON a přináší v první řadě nárůst

sdílené přenosové rychlosti ve směru sestupném až na 10 Gbps. V lednu 2010 byla vydána první pracovní verze nové série doporučení ITU-T G.987 10G-PON (XGigabit-PON). [3]

Jako další možnosti zvyšování přenosových rychlostí bude nasazení hybridních WDM PON sítí (Wavelength Division Multiplex Passive Optical Networks), které nebudou již nadále striktně pasivní sítě, protože budou použity zesilovače a opakovače pro dosažení větších vzdáleností. Tato technologie využívá oddělených vlnových délek, které jsou přenášeny po jednom vlákně, takže se celá kapacita přenosu násobí. Jsou dvě varianty, a to hrubé dělení CWDM, kde je pro standardní jednovláknové vlákno definováno 18 kanálů v pěti pásmech, a husté dělení DWDM (Dense WDM) má menší mezery mezi jednotlivými nosnými. Proto může přenést až 96 vlnových délek v jednom pásmu.[4]

2 Popis optické přístupové sítě GePON

GePON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network), pasivní optická přístupová síť, patří do skupiny přístupových sítí PON (Passive Optical Network) dle doporučení IEEE P802.3ah a blíže specifikovaná jako 1000BASE-PX20. Tato síť obsahuje pasivní přenosové optické prvky jako optická vlákna, konektory, svary, spojky, pasivní optické rozbočovače a filtry, optické linkové zakončení OLT, optické síťové jednotky ONU, popřípadě optické síťové zakončení ONT. GePON přenáší symetrické přenosové rychlosti v obou směrech 1,25 Gbps, což je rychlost na fyzické vrstvě. Umožňuje připojení menšího počtu koncových uživatelů, protože má nižší překlenutý útlum oproti GPON. [5]

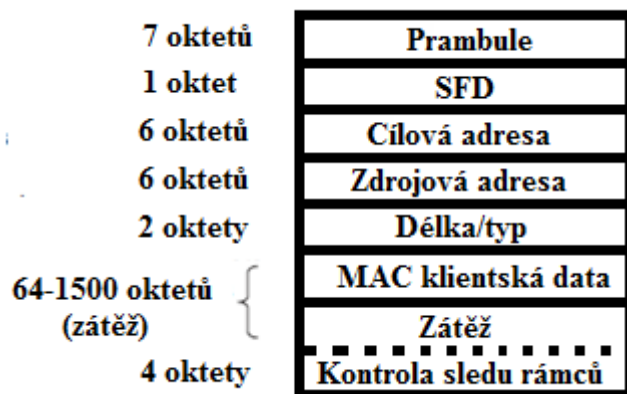
Schéma přenosu v obou směrech je duplexní a využívá dvě různé vlnové délky pro oba směry přenosu. OLT v sestupném směru nepřetržitě vysílá časové multirámce se seřazenými příspěvky pro jednotlivé ONU, které jsou multiplexovány za použití TDM (Time Division Multiplex). Pomocí pasivních rozbočovačů se tyto multirámce doručí do všech ONU, kde se selektují a ONU propustí pouze části rámce, které právě náleží dané ONU. Každý multirámec nese označení definované posloupnosti, která usnadňuje rozpoznání počátku rámce a odvozuje bitovou synchronizaci. Multirámec obsahuje datové jednotky zapouzdřené ve formátu Ethernet rámců, které mají pozměněné záhlaví a obsahují zabezpečující pole. [5]

2.1 Rámec Ethernet

EPON přenáší data jako nativní Ethernetové rámce v sekci PON. Ethernetové rámce mají proměnnou délku. Standard Ethernetového rámce je znázorněn na obrázku (viz obr. 1). Začíná sedmioktetovou preambulí, dále pak oddělovačem start rámce (SFD), který označuje počátek rámce. Standard rámce EPON využívá preambuli, která je pozměněná, aby mohla nést LLID. Každý rámec nese cílové a zdrojové MAC adresy, které jsou v šestioktetovém poli. Dále je dvouoktetové pole, které značí délku a typ užitečné informace, která je obsažená v další vrstvě rámce. Tato hodnota užitečné informace může mít od 46 oktetů až do 1500 oktetů, což je maximální hodnota. Když je hodnota mezi 1536 a 65 535, tak reprezentuje Ethernet rámec. Použití tohoto pole představujícího délku a typ pole se proto vylučují. Po poli užitečné informace následuje čtyřoktetový rámec pro kontrolu rámcového sledu, ve kterém je použita cyklická redundantní sekvence CRC. [2]

Je vidět, že Ethernet rámce nesou minimální režii bitů k řízení přepravy a informace o protokolu. V Ethernetu jsou OAM informace a řízení řešeno pomocí protokolu datových jednotek

PDU (Protocol Data Units), kde jsou standardní Ethernet rámce identifikovány pomocí pole délka/typ. protokol a OAM informace je nesena místo užitečné informace v PDU a OAM rámcích. Tyto rámce jsou multiplexovány do pásma s dalšími Ethernet rámci, které nesou skutečnou užitečnou informaci, rozumějme jako data uživatelů. [2]



Obr.: 1 Standardní Ethernet rámec

2.2 Time Division Duplex

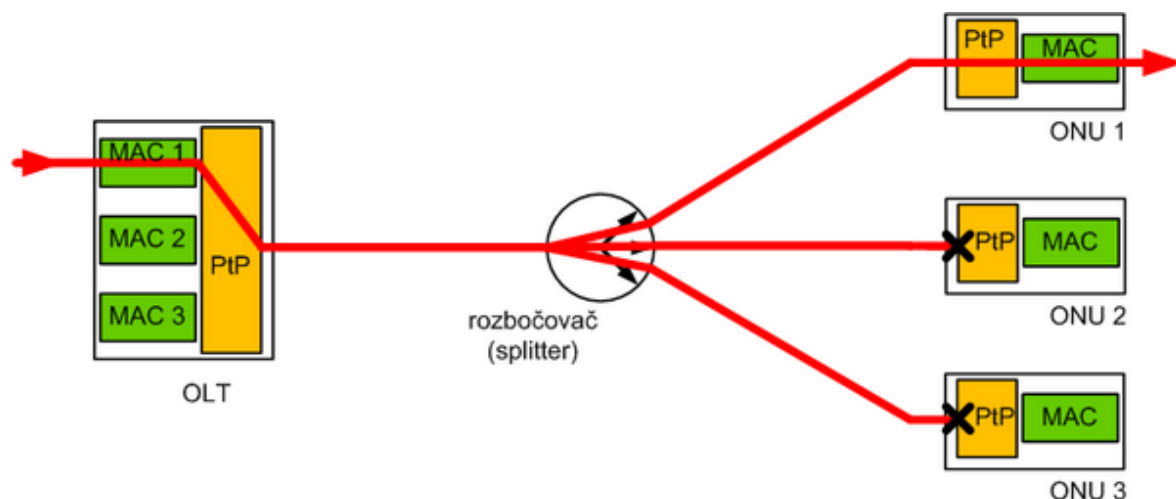
V přístupu pomocí časového dělení jednotky OLT a ONU se používá ping-pong relace pro sestupný a vzestupný přenos. V jednotkách ONU a OLT je oddělený upstream a downstream optických signálů pomocí jednovláknových jednovlnových plných duplexních přístupů.

NEXT efekt zabráňuje kolizi, že odděluje horní a dolní signály v časové oblasti. A to za cenu snížení propustnosti sítě o 50 %. OLT koordinuje časové úseky přiřazením časového úseku sestupných a vzestupných přenosů. Na OLT a ONU musí být nastaven stejný burst. [2]

2.3 Topologie PON sítě

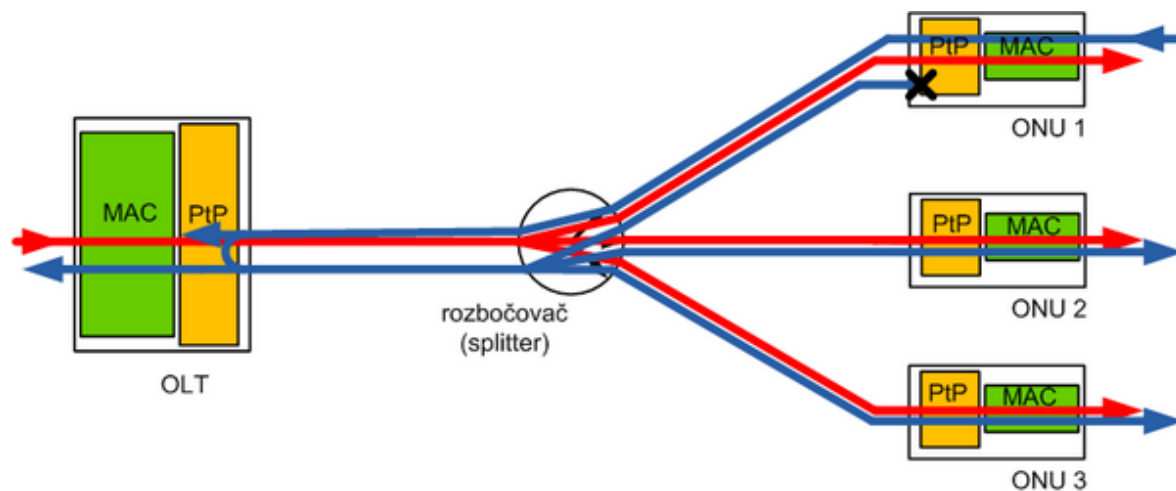
„Pasivní optická síť EPON podporuje celkem 3 schémata přenosu: bod-bod, bod-více bodů a současná kombinaci obou. V případě emulace typu bod-bod (viz obr.: 2) se struktura sítě navenek chová jako soubor vzájemně nezávislých bodových spojení. Tento způsob je umožněn implementací podvrstvy PtP před vrstvou MAC (Media Access Control) a označením koncových jednotek pomocí LLID. Do jednotky OLT je nutné v tomto případě integrovat N nezávislých MAC rozhraní, kde N označuje počet koncových jednotek ONU/ONT. V sestupném i vzestupném směru jsou všechny rámce označeny pomocí identifikátoru LLID, a ačkoliv jsou přeneseny všem koncovým jednotkám,

pouze jednotka ONU/ONT s určeným identifikátorem LLID tento rámec přijme. Ostatní ONU/ONT jej automaticky zahazují. Tento způsob emulace je možné využít v obou směrech přenosu nezávisle na sobě, případně jej využít v přemostěném neboli bridge režimu, kdy spolu vzájemně komunikují dvě koncové jednotky ONU/ONT prostřednictvím jednotky OLT^c. [5]



Obr.: 2 emulace typu bod-bod [5]

„Druhý způsob představuje schéma bod-více bodů (viz obr.: 3), označovaný jako SME (Shared Medium Emulation). V tomto případě figuruje v jednotce OLT pouze jedno MAC rozhraní sdílené pro všechny koncové jednotky ONU/ONT. Komunikace probíhá pomocí vysílání typu broadcast (tedy obousměrné komunikace všech připojených jednotek). Za tímto účelem je vyhrazen specifický identifikátor LLID označující právě zmíněný všesměrový režim přenosu. Pouze ve vzestupném směru koncová jednotka ONU/ONT, která tento hromadný rámec vyslala, kontroluje, zda přijímaný rámec neobsahuje stejnou identifikační značku jako rámec vyslaný (zabránění příjmu vlastního odeslaného rámce)“. [5]



Obr.: 3 Emulace bod-více bodů [5]

„Posledním způsobem komunikace je kombinace obou předchozích. Toho je dosaženo rozšířením počtu MAC rozhraní v jednotce OLT na $N+1$, kde 1 rozhraní je vyhrazeno režimu broadcast a zbylých N pak komunikaci PtP. Hromadné šíření je na jednu stranu výhodné pro služby jako například distribuce televizního vysílání (obecně videa), na druhou stranu při běžném provozu znamená poměrně vysoké zatížení sestupného kanálu nadbytečnými informacemi. Díky kombinaci obou předchozích způsobů může koncová jednotka ONU/ONT zvolit nejlepší způsob přenosu. V případě, kdy potřebuje určitá data adresovat pouze jedné koncové jednotce, zvolí typ PtP (s LLID požadované koncové jednotky). V případě adresování dat většímu počtu koncových jednotek využije broadcast a LLID k tomu určené“. [5]

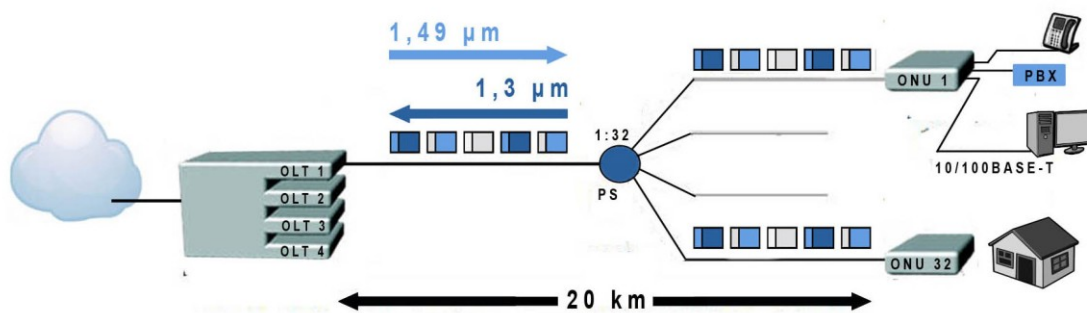
2.4 BURST režim

PON systémy vyžadují zvláštní Burst režim pro vysílání a přijímání. Jedná se o jednu z klíčových technologií pro přenos na vzestupném směru (od účastníka směrem k centrále). Je to nutné proto, že více účastníků sdílí stejné optické vlákno pomocí TDM. Klíčovým komponentem pro PON systém je Burst režim vysílače uvnitř ONU na straně účastníka a přijímače v OLT. Burst režimy přijímačů a vysílačů jsou obvykle realizovány pomocí integrovaných obvodů CMOS, které jsou nízkonákladové a nízkovýkonové. [2]

2.5 Standardní komerční využití TDM-PON struktury

Obrázek (viz obr.: 4) ukazuje architekturu standardní komerční TDM-PON struktury. Tato obecná architektura se vztahuje na APON, EPON a G-PON. OLT je připojen k zákazníkům přes splitter s poměrem 1:32. Maximální vzdálenost této struktury je 20 km. Přenos využívá pro vzestupný směr vlnovou délku 1490 nm a pro sestupný směr 1310 nm. Tato síť je připravena na nasazení služby tripple play, kde datové spojení je realizováno 10/100 BASE-T Ethernetovou přípojkou a hlasové připojení je T1/E1. Dále využívá porty pro komerční uživatele a obyčejné telefonní služby (POTS) pro domácí uživatele. Více OLT je možno přepojit na páteřních rozbočovačích nebo křížový přepojovač, který je připojen do páteřní sítě. Připojení mezi OLT a ONU je realizováno PON technologií. V závislosti na použití PON technologie je použito rozdílného zapouzdření paketů do rámců (BPON, APON, G-PON, E-PON). Nejběžnější používané

rozhraní je v dnešní době Ethernet. V sekci PON jsou signály z různých PON prokládány a rozesílány v řadě za sebou. Každý rámec je v záhlaví identifikován unikátním ONU ID. Směrové vlastnosti 1:N optických splitterů spojují downstream a point-to-point. Na druhou stranu vzestupný směr je multipoint-to-point. Rámce se odesílají ze všech ONU a jsou přijímány jednotkou OLT s tím, že dvě jednotky ONU si nemohou navzájem přímo odesílat a přijímat signály mezi sebou. To znamená, že celá komunikace mezi jednotkami ONU musí proběhnout přes OLT. [2]



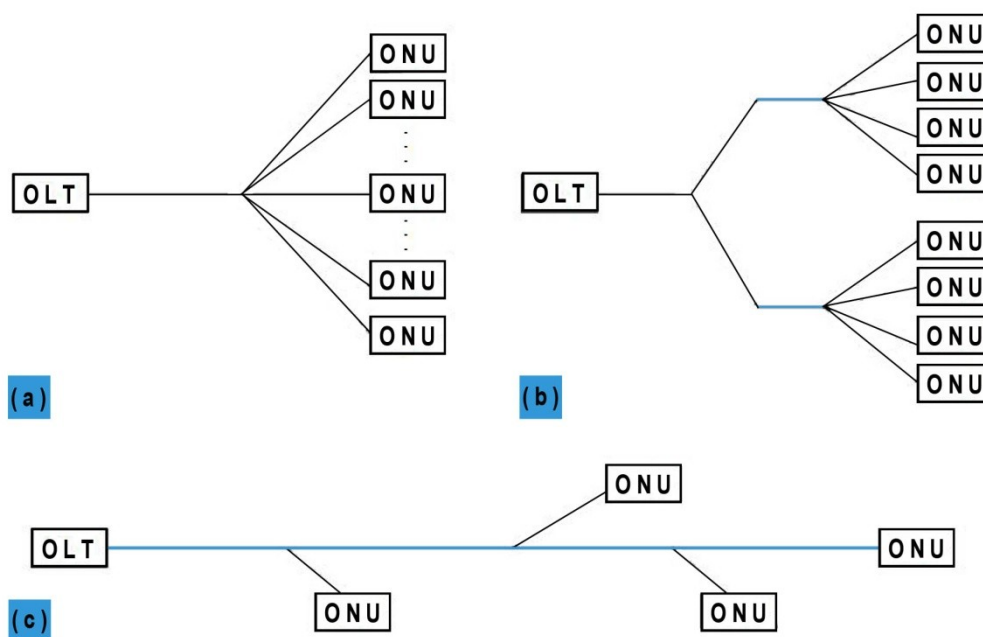
Obr.: 4 TDM-PON struktura

2.6 Poměr dělení

Většina komerčních systémů PON má dělicí poměr 1:16 nebo 1:32. Vyšší poměry dělení splitterů zatěžují více jednotky OLT a jsou větší přenosové ztráty. Ideální ztráta (splitting loss) při dělení je $A=10\log(N)$ [dB]. Pro vyšší poměr dělení je potřeba mít vysoko výkonové vysílače, vysoce citlivé přijímače a málo ztrátové optické komponenty. Vyšší poměr dělení znamená menší přenosový výkon a menší prostor vyhrazený pro jiné systémy, přičemž vznikají větší optické ztráty. Studie ukázaly, že ekonomicky optimální rozdělení poměru je kolem 1:40. Vysoký poměr dělení také znamená, že šířka pásma OLT je sdílena z více ONU a povede to ke zmenšení šířky pásma směrem k uživateli. Vysílací výkon je omezen dostupností laserových technologií s výstupním výkonem 0-10 dBm a bezpečnostními požadavky od regulačních orgánů. [2]

2.7 Architektura dělení

Účel dělení zahrnuje snížení přenosového pásma mezi OLT a ONU a redukuje kilometráž vláken. Je možno použít jednostupňové dělení (viz obr.: 5a), víceetapňové dělení (viz obr.: 5b) nebo jako topologii bus (viz obr.:5c). Skutečné rozdělení architektury závisí na demografii uživatelů a náklady na správu více rozbočovačů. Z manažerského hlediska je obvykle jednodušší mít jediný ovladač pro distribuci, který ji zjednodušuje, minimalizuje počet konektorů a snižuje ztráty. V architektuře bus nebo stromové architektuře mají všechny rozdělovače stejný vysílací výkon, proto nejvzdálenější ONU jednotka bude postižena nejvíce přenosovými a dělicími ztrátami a stane se úzkým hrdlem v systému. Nejvíce využívaný dělicí poměr v systémech PON je 1:16 nebo 1:32. Nicméně dělicí poměr přímo ovlivňuje výkon a přenosové ztráty. Ideální dělicí ztráty na splitteru 1:N jsou: $-10 \log(N)$ dB. [2]

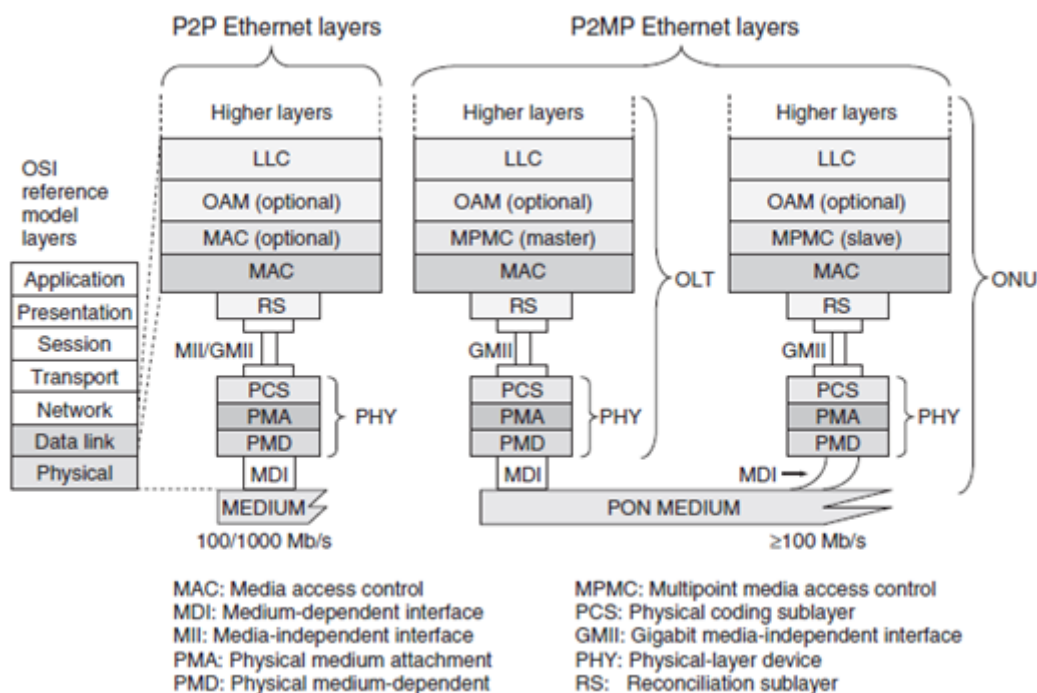


Obr.: 5 Druhy topologií

2.8 Architektura Ethernet vrstvy v EPON

Ethernet se vztahuje na fyzickou vrstvu a na spojovou (linkovou) vrstvu referenčního modelu OSI. Obrázek (viz obr.: 6) ukazuje porovnání vrstev PON v architektuře P2P a P2MP. Toto vrstvení je velmi podobné jako u tradičního P2P modelu Ethernetu. Standardní Ethernet rozděluje fyzickou

a spojovou vrstvu do dalších podvrstev. Fyzická vrstva je připojena ke spojové lince pomocí media-independent interface (MII) nebo u gigabitového připojení gigabit media-independent interface (GMII). Volitelná MAC vrstva v Ethernet P2P emulaci je u sítě EPON nahrazena povinnou vrstvou Multi Point Media access Control (MPMC). MPMC koordinuje přístup na sdílení přenosových cest PON mezi jednotkami ONU. Přestože OLT a ONU vrstvy vypadají téměř totožně, jednotky MPCP v OLT plní funkci master a jednotky MPCP v ONU jsou jako slave. To umožňuje EPON využívat P2P přemostňující protokoly založené na doporučení IEEE 802.1. [2]



Obr.: 6 Architektura Ethernet vrstvy v EPON [2]

2.9 EPON PMD vrstva

Vrstva PMDP určuje fyzikální vlastnosti optických přijímačů. Ethernet byl tradičně využíván jako nízkonákladové řešení, které podporuje masové využití. Tato filozofie vedla k obrovskému komerčnímu využití a stoupající tendenci využívat Ethernet. Na rozdíl od GPON, kde je standardní dělicí poměr 1:32, standardy IEEE 802.3ah mají základní dělicí poměr 1:16. Je třeba si uvědomit, že podvrstvy mohou podpořit pouze 32,768 různých ONU skrze 15bitový logický identifikátor spojení LLID. Různé délky mezi ONU a OLT byly definovány v normách EPON, kde jsou určeny vlastnosti pro vzdálenost 10 km a 20 km. 1000BASE-PX10-D PMD a 1000BASE-PX10-U PMD definuje vlastnosti vysílačů OLT a ONU pro dosah 10 km. 1000BASE-PX-20-D a 1000BASE-PX20-U značí vlastnosti vysílačů OLT a ONU pro dosah 20 km, přičemž zdědily i vlnový alokační plán od ITU-G.983.3. Tyto vlastnosti pro 10km a 20km přenos jsou téměř totožné, většina změn je prováděn v OLT, kde se zdvojnásobila vzdálenost z 10 km na 20 km, což umožňuje ONU jednotkám lépe zvládat provoz na delší vzdálenosti. Tím i podporuje plošnější využití EPON a odpadá pořizování nových ONU při navýšení přenosové vzdálenosti. [2]

2.10 Burst režim a smyčky časování v EPON

Ethernet je založen na Burst protokolu. Nicméně moderní P2P Ethernet sítě využívají speciální vysílací a přijímací kanály mezi rozbočovačem a Ethernet pracovními stanicemi. Tento systém udržuje synchronizaci mezi vysílačem a přijímačem pomocí přenosu synchronizačních symbolů, které jsou odesílány, když je nevyužitá přenosová kapacita traktu. I přesto, že Ethernet protokol sám o sobě využívá burst, tak moderní P2P sítě už nadále nevyužívají burst v pravém slova smyslu. Ačkoli preamble se dochovala, v moderní Ethernet P2P síti nemá prakticky žádný význam, kromě zpětné kompatibility se staršími přístroji na bázi Ethernet.

Vzhledem k tomu že vzestupný směr EPON je typu burst, preamble jsou znovu potřeba, aby pomohla synchronizovat burst mezi OLT a jednotkami ONU. Kromě toho jsou preamble v P2P EPON sítích upraveny pro nesení LLID. Tradičně všechny Ethernet vysílače pracují asynchronně na jejich místních časových doménách. Není tu žádná globální synchronizace. Přijímač odvodí hodinový signál z přijatých synchronizačních symbolů. Nesoulady mezi zdroji clock signálu se zachycují mezi rámci v Interframe Gap (IFG). V systému EPON sestupné fyzické spojení udržuje spojitý signál a synchronizaci hodin. Ve vzestupném směru pro udržení časové

synchronizace mezi OLT a ONU se využívá časová smyčka pro vzestupný burst. To znamená, že hodinový signál je odvozen z přijímaného sestupného směru. [2]

2.11 PCS vrstva a zpětná bitová korekce FEC (forward error correction)

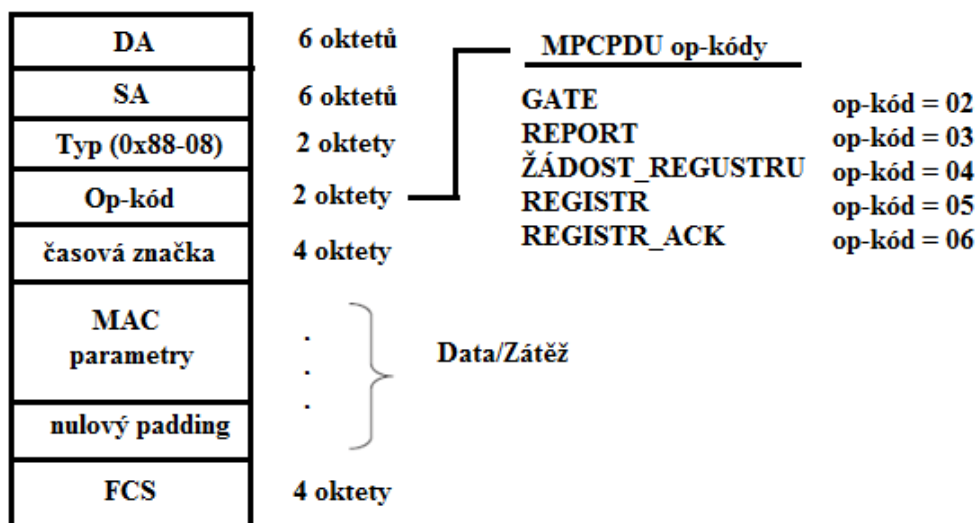
Použití FEC je volitelné v EPON. IEEE 802.3ah standard definuje RS (255, 239) blokové kódy PCS ve vrstvě EPON. Jedná se o stejný kód, jako je použit v GPON. Paritní bity jsou připojeny na konci každého rámce. Při použití FEC se nemění rychlost časování synchronizace, ale klesá propustnost dat. To umožňuje, že ONU, které nepodporují FEC, jsou schopny spolupracovat s ONU a FEC používají. Jednotky ONU, které nepodporují FEC, budou jednoduše ignorovat paritní bity, i když se zvýší BER. [2]

2.12 Multipoint Control Protocol (MPCP)

Protokol MPCP byl vyvinut pro služební komunikaci, řízení a správu. V podvrstvě se využívá protokol MPCPDU (Multipoint Control Protocol Data Units), který vykonává funkce, které mají za úkol objevovat a přiřazovat nové ONU jednotky, a dále dynamicky přiděluje přenosové kapacity v multirámci ve vzestupném směru. [2]

2.13 Multipoint Control Protocol Data Unit (MPCPDU)

MPCPDU (viz obr.: 7) jsou 64 bitů dlouhé MAC rámce bez značkování VLANů. Obecný formát MPCPDU je charakterizován MAC rámcem typu 0x88-08 v poli délka/typ v Ethernet rámci. Dvouoktetové pole identifikuje typ MPCPDU zprávy a op-kodeky pro všechny typy MPCPDU definované v EPON. Každá MPCPDU zpráva také obsahuje čtyřoktetové pole pro časové razítko, takže je možné ONU a OLT vzájemně korigovat pro načasování provozu. Část data/pad obsahuje MAC parametry v MPCPDU nutné k doplňování rámců nulami pro udržení 64bitové velikosti pole. [2]

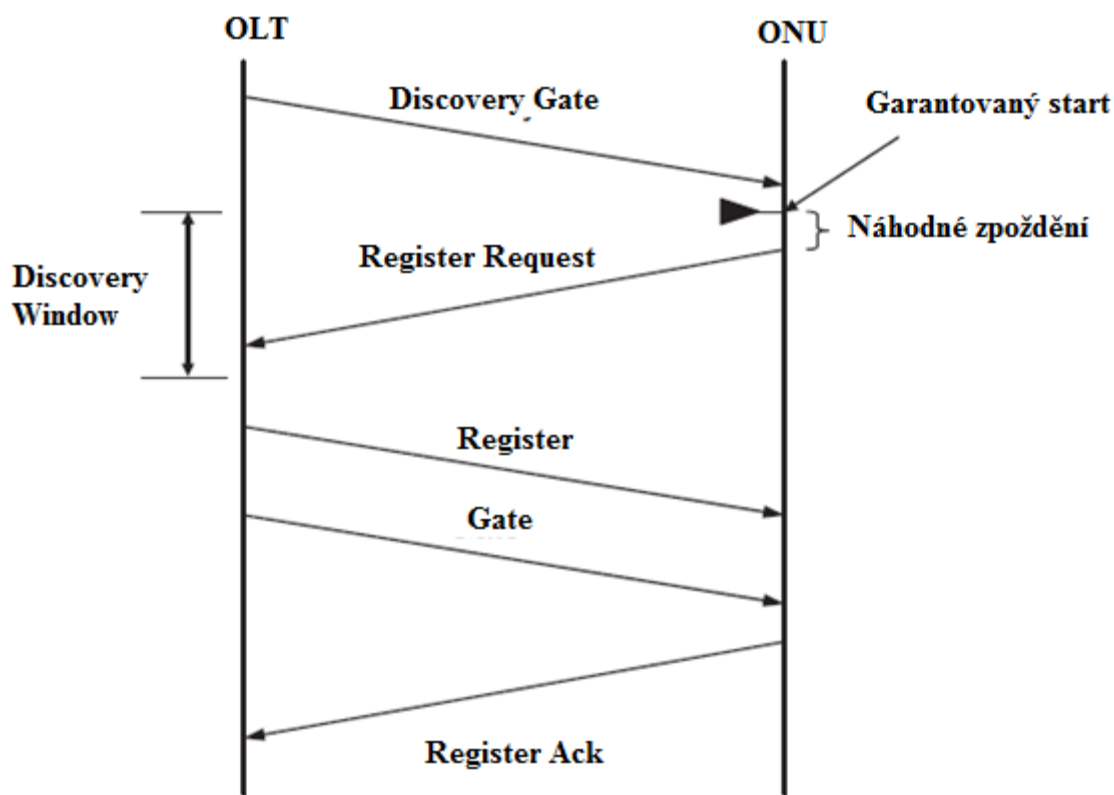


Obr.: 7 Jednotka MPCPDU

2.14 Autodiscovery proces v EPON a ONU

Autodiscovery proces umožňuje v EPON připojit ONU jednotky hned po zapnutí. OLT přidělí virtuální MAC adresu a přiřadí LLID pro P2P emulaci. Během Autodiscovery procesu dojde synchronizaci času a burst módu. Synchronizace času je čas potřebný OLT po obdržení burstu, aby si z vysílače ONU nastavil hodiny a upravil své rozhodnutí v přijatých třináctivýkonnostních úrovních z různých ONU. Pro provedení Autodiscovery procesu musí OLT periodicky vysílat rámce Discovery Gate. Jak je ukázáno na obrázku (viz obr.: 8), je vyhrazen čas poskytnutý Discovery Gate, který se nazývá Discovery Window. OLT také předává ONU své hodnoty synchronizačního Burst módu ve zprávě Discovery GATE, takže každé ONU zná formát vzestupných signálů se symboly pro nečinnost během počáteční synchronizace Burst. ONU zaregistruje Discovery GATE a posílá požadavek Register Request, poté čeká na náhodné zpoždění. OLT přijme poptávku po zaregistrování Register Request a přidělí ONU jeho LLID. OLT pak odešle další zprávu GATE pro poskytnutí místa ve vzestupném směru pro ONU s nově nabytým LLID a dále odešle RegisterAcknowledgment rámec, který značí konec registračního procesu nové ONU jednotky. Může se stát, že se připojí několik nových ONU jednotek, a ty by poté mohli kolidovat. Tento stav je ošetřen tím, že je v ONU generováno náhodné zpoždění před

vysláním Register požadavku, a tím se zabrání kolizi na OLT. Proto může OLT přijmout více požadavků v Discovery Window a nenastane kolize. [2]



Obr.: 8 Autodiscovery proces

2.15 Útlum

Typická hodnota překlenutelného útlumu optické distribuční sítě instalovaných pro GPON sítě se pohybuje nejčastěji kolem hodnoty 28 dB. Nárůst měrného útlumu vláken v pásmu 1260-1280 nm oproti pásmu 1290-1330 nm se zvětšuje. Jedná se o nárůst hodnoty měrného útlumu o 0,05 dB/km [6]

2.16 Bezpečnost

V původní generaci GPON sítí se předpokládalo, že vzestupný směr je díky svému specifickému charakteru sám o sobě dostatečně bezpečný a není tedy potřeba zajistit dodatečné šifrování a zabezpečení vlastních uživatelských dat, služebních zpráv a informací

v záhlaví rámců. Až teprve praktické zkušenosti operátorů provozujících sítě GPON a následně provedená měření a testy prokázaly, že při specifických podmínkách (topologie sítě, kvalita optických vláken, nečistoty konektorů), lze v určitých případech rámce přenášené ve vzestupném směru zachytávat a odposlouchávat. [6]

3 Teoretický úvod do služby Triple Play

Komunikační standardy se již delší dobu snaží o sítě s integrovanými službami, které umožňují přenášet data, hlas a video.

Každá z aplikací má rozdílné požadavky na šířku pásma a kvalitu spojení. Přenos dat oproti přenosu hlasu a videa není náročný na spolehlivost přenosu a délku zpoždění. Datové sítě jsou konstruovány tak, aby byla využita maximální šířka pásma. V telefonních sítích je zaručena doba doručení, protože si hovor rezervuje pásmo neohledně na další síťový provoz. Tím je neefektivně využité pásmo. Stejně jako přenos hlasu, tak i přenos videa je náročný na kvalitu spojení, proto je také pásmo nevyužito efektivně. [7]

3.1 VoIP

VoIP (Voice over IP) je technologie, která přenáší digitalizovaný hlas na paketově přepínaných IP sítích. Používá se algoritmus komprese, který přenáší hlas jen v části vlnového pásma a zvyšuje efektivitu minimálně osmkrát. Kompresní metoda dle standardu G.723.1 využívá 5,3 Kbps a standard G.729 využívá 8 Kbps. Komprese odstraní vliv kolísající prodlevy při přenosu. Pro přenos na síti, je nutné mít vyřešenou efektivnost využití šířky pásma, garantovat dobu doručení a mít možnost si pásmo rezervovat. Tato síť musí poskytovat služby se zaručenou kvalitou, neboli QoS.

Realizace komprese je náročná na početní výkon procesorů. Při malé síti, jako je naše realizovaná, stačí procesor PC. Avšak pro větší systémy se používají signálové procesory s řešením pro potlačení ticha, detekce tónové volby a potlačení echa. [7]

3.1.1 Kódování

Převod hlasu do digitální podoby zahrnuje dva kroky:

1. **Vzorkování:** analogový signál získaný z mikrofonu je převeden na diskrétní signál.

2. **Kódování:** každému vzorku je přiřazeno bitové slovo.

Výsledek těchto operací je datový tok, který je možno přenášet digitálním kanálem. Aby byla tato metoda efektivní, vzorkovací rychlost musí být co nejmenší, přičemž se musí zachovat kvalita signálu. [8]

Uživatelé chtějí čistý a srozumitelný zvuk, aby porozuměli zprávě a mohli rozpoznat po hlase volacího. Další funkce jako stereofonní zvuk nejsou potřeba. Lidské ucho slyší v rozmezí 20 Hz až 20 kHz, ale většina telefonních standardů využívá pásmo mezi 300 kHz až 3400 kHz. I když je to jen malé subpásmo ze slyšitelného spektra zvuku, tak toto pásmo pojme 80 % zvukové informace z lidského hlasu. [8]

Standardy pro digitální telefonní systémy stanovuje PCM kódování. PCM se využívá v TDM přenosech, ale u IP telefonie je to jinak. Paketový přenos může využít proměnou přenosovou rychlost kodeků. Například hlasové kodeky pro paketový přenos generují data pouze v případě, kdy účastník hovoří, při odmlce negenerují informace. Pro IP telefonii je větší množství kodeků než pro TDM telefonii. Dají se rozdělit do skupin, které jsou popsány níže. [8]

3.1.2 Průběhové kodeky

Nepřihlížejí na to, jak byl signál generovaný. Snaží se stanovit (vypočít) množství vzorků takovým způsobem, že signál dekóduje přijímač, aby byl signál co nejpodobnější originálu. Produkují vysoce kvalitní výstup s malým kódovacím zpožděním při zachování nízké složitosti, ale nehodí se pro nízké přenosové rychlosti. Další výhodou tohoto typu kodeků, je, že jsou vhodné pro přenos jiných než hlasových signálů, jako jsou dualtónové multifrekvenční číslice. [8]

3.1.3 Zdrojové kodekéry neboli vokodéry

Při zdrojovém kódování se zdroj (lidský vokální trakt) modeluje elektronickým zařízením – vokodérem (voice coder). Ve vysílací části vokodéru se na základě hovorového signálu analyzují a kódují (pomocí tzv. lineární predikce) parametry zdroje, tzv. deskriptory, které se po té přenášejí na přijímací stranu, kde jsou použity k řízení hovorového syntezátoru. Syntezátor je v podstatě filtr, jehož parametry a buzení se mění na základě analyzovaného zdroje. Filtr se označuje jako lineární predikce (LPC). [8]

3.1.4 Hybridní kodeky

Snaží se poskytnout to nejlepší z průběhových a zdrojových kodeků. Zajišťují, aby průběhy odpovídaly originálnímu signálu a používají modely vycházející z poznatku, jak je lidská řeč generovaná. Hybridní kodeky jsou komplexní a většinou produkují významné kódovací zpoždění. [8]

Dostupnost mnoha kodeků je výhoda pro poskytovatele služeb i pro zákazníky, protože tu je možnost si vybrat nejlépe vyhovující kodek. Ve VoIP aplikacích je možné použít více než jeden kodek ve stejném end-to-end připojení. V širokopásmových sítích a ve veřejné telefonní síti jsou většinou vyžadovány různé kodeky. Všechny operace spojené s kódováním a dekódováním degradují kvalitu signálu a způsobují zkreslení. [8]

3.1.5 MOS a R-Faktor

S cílem poskytnout kvalitní hodnocení kvality komunikace VoIP byl přestaven MOS (Mean Opinion Score), který představuje vnímanou kvalitu hlasu a hodnotí kvalitu hovorů v rozsahu 1 - 5. Původně měl MOS faktor reprezentovat aritmetický průměr všech hodnocení od lidí, kteří hodnotili kvalitu hovoru. V dnešní době již není potřeba lidského faktoru k určování kvality hovoru, protože existují softwarové modely pro výpočet MOS faktoru. MOS faktor je totiž velmi subjektivní a jedinec by neměl sám rozhodovat o MOS faktoru systému VoIP. Měly by být analyzovány i ostatní faktory ovlivňující kvalitu spojení, jako je zpoždění, paketová ztrátovost, kolísání. Jako alternativu MOS faktoru byla zavedena další hodnocení. [9]

Následující tabulka ukazuje vliv MOS a R-Faktoru na vnímanou kvalitu hovoru (viz tab.: 1)

| Míra spokojenosti Uživatelé | MOS | R - Faktor |
|-------------------------------|---------|-------------|
| Maximální užití G.711 | 4,4 | 93 |
| Velmi spokojený | 4,3-5,0 | 90-100 |
| Spokojený | 4,0-4,3 | 80-90 |
| Někteří uživatelé spokojení | 3,6-4,0 | 70-80 |
| Mnoho uživatelů nespokojených | 3,1-3,6 | 60-70 |
| Většina nespokojená | 2,6-3,1 | 50-60 |
| Nedoporučené | 1,0-2,6 | méně než 50 |

Tab.: 1

Někteří uživatelé věří, že R-Faktor je více objektivní měřítko kvality VoIP systému než MOS- faktor. Přesto by měl umět síťový analyzátor vypočítat oba faktory.

Pro základní výpočet R-Faktoru potřebujeme znát následující: R_0 = výchozí hodnota odvozená z poměru signálu a šumu, I_s = zhoršení způsobené lineárním zkreslením, I_d = zhoršení způsobené zpožděním, I_e = zhoršení způsobené nelineárním zkreslením a A = faktor, který bere na vědomí potřebu kvality daného systému oproti klasické pevné telefonii. Je dán vztahem $R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A$. Kvůli přesnějšímu měření v jednotlivých výsečích sítě je potřeba zavést koeficient celkového zhoršení I_{tot} , který zahrnuje všechny vlivy na zhoršení kvality. Vypočte se: $I_{tot} = I_0 + I_q + I_{dte} + I_{dd} + I_{eff}$, kde: I_0 = faktor zhoršení vlivem šumu a odchylky míry hlasitosti, I_q = faktor zhoršení vlivem kvantizačního zkreslení, I_{dte} = faktor zhoršení vlivem ozvěny, I_{dd} = faktor zhoršení vlivem zpoždění a I_{eff} = faktor zhoršení vlivem nízkorychlostních kodeků zahrnující ztrátovost paketů. Proto celkový R faktor ve výseči sítě je dán výpočtem: $R = 100 - I_{tot} + A$. [10]

3.2 IPTV

IPTV neboli Televize přes internetový protokol je systém, který se šíří přes počítačové sítě za pomoci IP protokolu. Bývá často poskytována v uzavřené datové infrastruktuře. IPTV má nižší náklady jak pro operátory, tak pro spotřebitele, protože využívá standardních síťových protokolů. IPTV využívá obousměrný digitální vysílací signál posílaný přes přepínanou telefonní nebo kabelovou síť prostřednictvím širokopásmového připojení a set-top boxu naprogramovaného tak, že může zpracovat uživatelské požadavky na přístup k dostupným médiím. [11]

3.2.1 VoD

VoD je zkratkou pro Video on Demand (video na požádání). VoD umožňuje si vybrat z obsahu či databáze požadovaný multimediální obsah a ten si přehrát. Tento vybraný obsah je prakticky ihned k dispozici a dovoluje uživateli okamžitou odezvu, umožňuje přetáčení, zpomalování a zrychlování obrazu. [11]

3.2.2 UDP Protokol

Tento protokol odešle mnoho dat do sítě, ale není žádná záruka, že se data dostanou na místo určení. Vedle protokolu TCP je UDP jeden z hlavních protokolů, který podporují všechny známé operační systémy. Surové UDP není možné použít pro streaming. RTP je na vrchní vrstvě UDP a poskytuje potřebné údaje pro časové uspořádání. RTP/UDP je hojně využíván pro živé

streamování audia a videa. V tomto případě není důležité, že obdržíte všechna data, ale je důležité, že budete přijímat některá data průběžně a rychle. [8]

3.2.3 Multicast

Multicast je norma zavedená do každého moderního hardwaru (rozbočovače, routerů, OLT). Poskytuje inteligentní způsob distribuce streamu na všechna zařízení v síti.

V multicastovém streamování je stream posílán na rezervované adresy k tomu určené, které jsou v rozsahu od 224.0.0.0 do 239.255.255.255. Poté se může kterákoli entita v síti připojit k multicastové skupině, a to zasláním žádosti do sítě, a poté bude automaticky připojena. Když se odešle požadavek, aby opustil skupinu, automaticky se zastaví příjem streamu. Výhodou multicastového streamu je, že stream se distribuuje pouze na entitu, která o stream požádala a server vysílá pouze jeden stream, i když je připojeno více uživatelů. [12]

3.3 Server FTP

FTP (File Transfer Protocol), definovaný v RFC959 (1985), je protokolem aplikační vrstvy určený pro přenos souborů. Mimo jiné umožňuje vytvářet a mazat adresáře. Komunikace je založená převážně na modelu klient-server. Schopnosti základního protokolu rozšířilo několik přidružených RFC dokumentů, například:

- RFC1579 (Firewall-Friendly FTP),
- RFC2228 (FTP security extensions),
- RFC2428 (FTP Extensions for IPv6 and NATs),
- RFC2640 (Internationalization of the File Transfer Protocol),
- RFC4217 (Securing FTP with TLS). [13]

3.3.1 FTP - přenos dat

Protokol FTP využívá jako transportní vrstvu jen TCP. Používají se dvě TCP spojové - řídicí a datové. FTP server naslouchá na portu 21 na přicházející spojené od klienta. Spojení na tomto portu je řídicí spojení. Protokol definuje dva módy na navazování spojení [14]

3.3.2 Aktivní režim

Klientská strana otevře náhodný port a zašle serveru příkaz k připojení k tomuto portu, přičemž čeká na přicházející spojení od serveru. [14]

3.3.3 Pasivní režim

Server otevře náhodný port a zašle klientovi informaci. Následně očekává připojení klienta k tomuto portu. Pasivní režim nastává, pokud je klient v privátní síti za NAT. [14]

4 Kvalita služeb QoS

Vzhledem k velkému rozšíření telekomunikačních služeb, které jsou závislé na kvalitě spojení a malé ztrátovosti, bylo potřeba zajistit určitou kvalitu služeb, proto tedy QoS, neboli Quality of Service. Tento soubor protokolů, aplikací a funkcí síťových prvků zajišťuje hladký chod služeb a dodání potřebného paketu nejlépe a nejrychleji jak je možné. Ať už se jedná o IP telefonii, streamovaná videa, videokonference, distribuované výpočty, nebo přenos velkých objemů dat. QoS neboli kvalitu služeb, charakterizují parametry jako šířka pásma (bandwidth), ztrátovost paketů (dropped packet), zpoždění (delay) a rozptyl zpoždění (jitter)

4.1 Řešení QoS

Níže jsou uvedeny druhy řešení QoS.

4.1.1 Best effort a TOS rating

Toto řešení bylo v IP protokolu téměř od začátku. Je realizováno tak, že paket obsahoval pole TOS (Type of service) v IP hlavičce datagramu. Toto pole obsahovalo informace o typu a prioritě, proto mohl směrovač vybrat nejlepší trasu, kudy zaslat daný datagram. Toto řešení nebylo moc často nasazováno a moc se nerozšířilo. [16]

4.1.2 Integrované služby - IntServ

Integrované služby využívají protokol RSVP, který oznamuje své požadavky na přenos celé síti. Pokud síť nepotvrdí požadavky, je zaslána žádost o nižší QoS. Na druhou stranu, pokud síť vyhoví QoS nárokům, musí tato aplikace informovat všechny síťové prvky, po kterých bude probíhat daná komunikace. [16]

4.1.3 Differentiated services -DiffServ

Oproti integrovaným službám jsou diferencované služby mnohem rozšířenější. Garantují kvalitu na velké vzdálenosti, protože méně zatěžují směrovače a je lepší škálovatelnost. Dělí se

podle umístění směrovačů. Okrajové uzly, které se nacházejí na začátku DS-domény, kde se provádí QoS politika, se klasifikují vstupními proudy. A to tím, že se přiřazuje DS pole v IP hlavičce. V podstatě je to jiný název pro TOS. Vnitřní uzly nijak nezasahují do paketu, pouze ho nasměrují na patřičnou cestu, podle jeho značky. Hraniční uzly rozlišují různou klasifikaci a oddělují od sebe dvě odlišné DS domény. Kvůli dohodě mezi doménami se s odlišnou nakládá podle dohody, nejčastěji se ale přepíše značka podle původní značky. [16]

4.2 Policing a shaping

Řešení QoS za pomoci metod Policing a Shaping.

4.2.1 Policing

Na vstupu je omezovaná šířka pásma. V praxi je to řešeno službami, které mají kontrolu toku, třeba TCP. Při dostatečném zpoždění či zahazování paketů se vysílací strana přizpůsobí a zpomalí rychlost vysílání.

4.2.2 Shaping

Je opakem policingu a omezuje šířku pásma na výstupu. Qdisc neboli queue discipline, je soubor aplikací, které pracují s frontou a to tím, že zahazují, zpožďují či různě přeskupují pakety do front. Jsou dva druhy disciplín v classfull (třídní) a classless (beztrídní), je možné implementovat další qdisc, avšak každé síťové rozhraní musí mít minimálně jeden.

5 Metoda měření RFC 2544

Je metoda zvaná Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices, která byla vydána v roce 1999 a nahrazuje předešlé verze metod testování integrity sítě. Tento dokument je šablona pro prezentaci a popis výkonnostních testů síťových zařízení. Tyto testy by měly být prováděny několikrát, avšak minimálně pětkrát s rozdílnými velikostmi rámců. RFC 2544 obsahuje test propustnosti (Throughput), zatížitelnosti (Back to back), ztrátovosti (Packet loss) a zpoždění (latency). [24]

5.1 Test propustnosti

V testu propustnosti se sledují vyslané rámce. Pokud se počet rámců přijatých shoduje s počtem odeslaných rámců, tak musíme zvýšit přenosovou rychlost a opakovat test. Vznikne-li ztráta rámců, musíme danou přenosovou rychlost snížit a znovu opakovat test. Výsledky testu by měly být prezentovány v grafu, který nese na ose x délky vyslaných datagramů a na ose y rámce za sekundu. [24]

5.2 Ztrátovost

Je procentuální vyjádření ztráty počtu rámců, které z důvodu nedostatečné přenosové kapacity či jiných vlivů nedorazily do své distance. [24]

5.3 Zatížitelnost

Testuje se tak, že se odešle přes síť maximální rychlostí největší možný počet rámců, který má mít minimální délku 2 sekundy, a nesmí nastat žádná ztráta rámců.

Z tohoto postupu dostaneme parametr EIR, který nám vyjadřuje, jaká je maximální zatížitelnost sítě, aniž by došlo k přehlcení sítě. Parametr CIR, na rozdíl od EIR, odkazuje na šířku pásma, která je zaručena a vždy k dispozici na konkrétní službu. [24]

5.4 Zpoždění

Je metoda založená na principu uložit a přeposlat, ve které se zpoždění vyjadřuje jako doba, mezi kterou byl obdržen poslední bit prvního rámce, a přijat první bit posledního odeslaného rámce. [24]

6 Metoda měření pomocí ITU-T Y.1564 EtherSAM

ITU-T Y.1564 neboli EtherSAM (Ethernet Service Activation test Methodology) je nový návrh doporučení dle ITU-T pro testování metodologie multiservisních paketově založených sítí. Vlastní měření má dvě fáze. Jsou zde zavedeny ukazatele CIR a EIR, a to:

CIR (Committed Information Rate) neboli informace zavazující rychlost. Odkazuje na šířku pásma, která je zaručena a je vždy k dispozici na konkrétní službu.

EIR (Excess Information Rate) je poměr nadbytku informací. Jedná se o nadměrné šířky pásma nad CIR, které mohou být k dispozici v závislosti provozu na síti. [21]

Fáze 1 – Ověření konfigurace sítě

Pro každou službu se sekvenčně generuje rychlostní rampa. První pro CIR, druhá pro EIR a třetí EIR. V této fázi se ověří, jestli je CIR a EIR správně nakonfigurované a zkontroluje všechny SLA parametry v každém kroku rampy, přičemž průměrný čas je kolem jedné minuty. [17]

Fáze 2 - Test Služeb

Všechny služby se generují simultánně při CIR a ve stejné chvíli se sledují všechny parametry jako propustnost, zpoždění, start rámců a kolísání. Pro každý parametr se v obou směrech testuje vyhovuje/nevyhovuje práh Threshold, což je stav, kdy je ještě dostupná služba. V tomto testu jsou všechny nakonfigurované služby vytvořené ve stejnou dobu, na stejném CIR, pro období, které se může pohybovat od několika minut až po několik dnů. Během tohoto období je výkon služeb jednotlivě sledován. Pokud některá služba nesplní své výkonové parametry, je test vyhlášen jako nevyhovující. [17]

7 Konfigurace služeb Triple Play

Tato kapitola popisuje jednotlivé služby Triple Play. Od vyhledání softwaru, instalace až po konfiguraci jednotlivých řešení.

7.1 VLC stream server

VideoLAN je kompletní softwarové řešení pro video streaming a přehrávání videa. VideoLAN byl původně vyvinut pro streamování MPEG videa v širokopásmových sítích. Hlavní software VideoLANu je ale VLC media player, který se stal plně vybavený multiplatformní mediální přehrávač.

Původně se nazýval VideoLAN Client, VLC media player je hlavní software VideoLAN. VLC funguje na těchto platformách: Linux, Windows, Mac OS X, BeOS, BSD, Solaris, Familiar Linux, Yopy/Linupy and QNX. [18]

7.1.1 Podporované kodeky

VideoLAN implementoval do své platformy podporu mnoha kodeků. Stremování videa je nejčastěji realizováno kodeky z rodiny MPEG, nejčastěji však MPEG-2 a MPEG-4. Další z podporovaných video kodeků jsou: MPEG-1, Soreanson Video V1 a V3, VOB Video, které je využíváno u DVD, Windows Media Video V1, V2 a V3. Dále podporuje Digital Video DVDS, MJPEG, H263, H264, Teora kodek, Indeo Video IV20, IV40, Real Media video RV10, Cinepak, On2 VP, FLash Video FLV1, Creative YUV, Huffman YUV, Microsoft Video V1, Microsoft RLE Video, Autodesk RLE Video, Flick video, QPEG Video, VP8 Video. [19]

Dále jsou podporovány následující audio kodeky: MPEG audio, MPREG Layer audio, Dolbi Digital A5 a AC3, Vorbis, Speex FLAC, DV Audio, LPMC, ADPCM, AMR, QuickTime Audio, Real audio, MACE a MusePack. [19]

Distribuce videa a přístup na síť je realizován díky podpoře mnoha transportních protokolů, jako http, IGMP, MMSH, RTP, RTSP, RTSP, SAP, SDP, SIP, UDP a TCP. [19]

7.1.2 Multiplexory

Kvůli přenositelnosti je doporučený MPEG1 multiplexor, protože je podporován nejvíce platformami. Pro streamování MPEG kodeku se využívá TS MPEG, který je využit v DVD, multiplexor PS se nejčastěji využívá při ukládání MPEG na disk, mp4 mux formát se užívá pro MPEG-4 video a MPEG audio. Dále podporuje klasický avi multiplexor a asf, dummy a multiplexor agg, který je kontejnerový a může zahrnovat audio, video i vedlejší data. [19]

7.1.3 Nastavení VLC stream serveru

Nejdříve musíme nainstalovat software na pracovišti. Instalace lze provést dvěma způsoby, buď v grafickém rozhraní **Synaptic Package Manageru** v repozitáři universe, nebo pomocí příkazu:

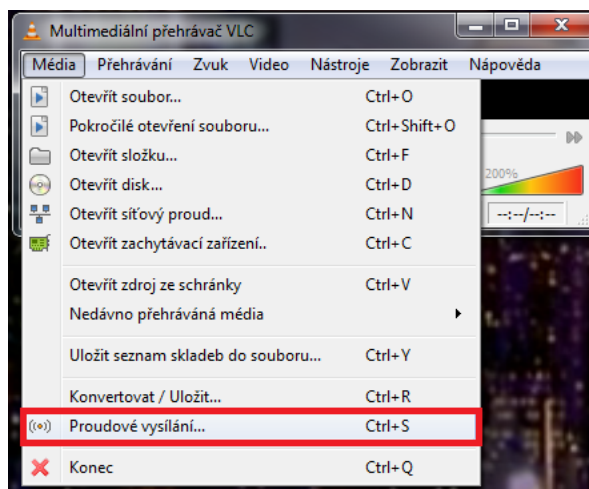
```
$ sudo apt-get install vlc.
```

Samotné streamování můžeme provést dvěma způsoby, buď v grafickém prostředí přehrávače, nebo pomocí příkazu:

```
vlc video.avi --sout '#std(access=udp, mux=ts,dat=<cílová_ip>)'.
```

Grafické prostředí:

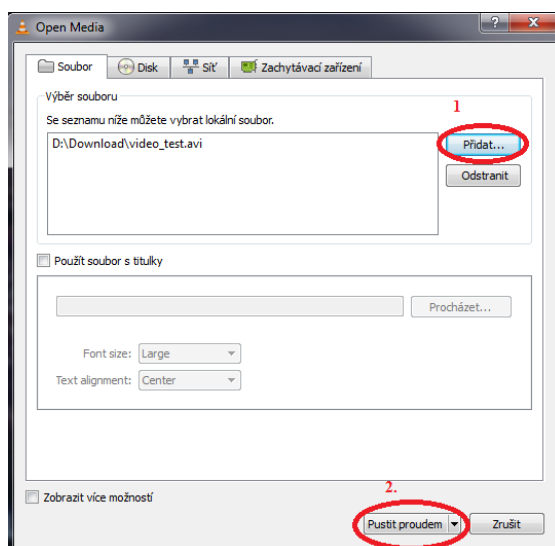
1. Média => Proudové vysílání (viz obr.: 9)



Obr.: 9 Nastavení VLC č. 1

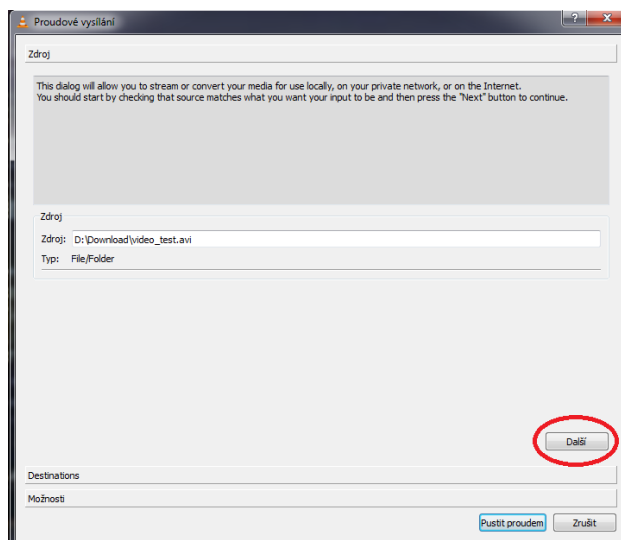
2. Nejdříve vybereme možnost **Přidat...** a následně vybereme požadovaný video soubor, který chceme streamovat.

Po vybrání souboru vybereme možnost **Pustit proudem** a otevře se další nastavení streamu. (viz obr.: 10).



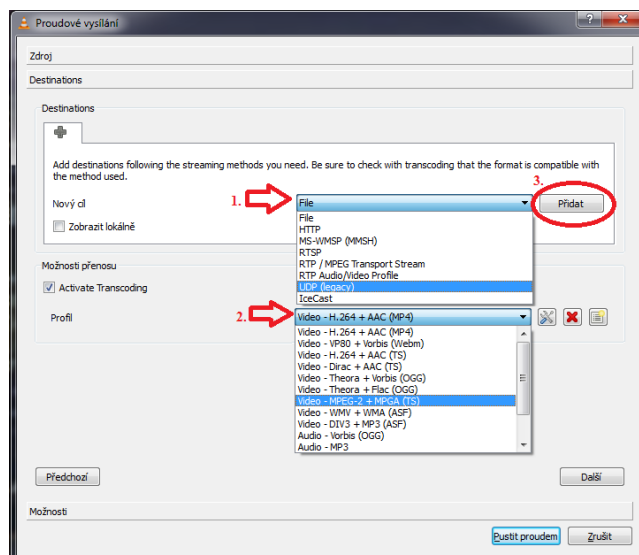
Obr.: 10 Nastavení VLC č. 2

3. V nastavení vybereme možnost **Další** (viz obr.: 11).



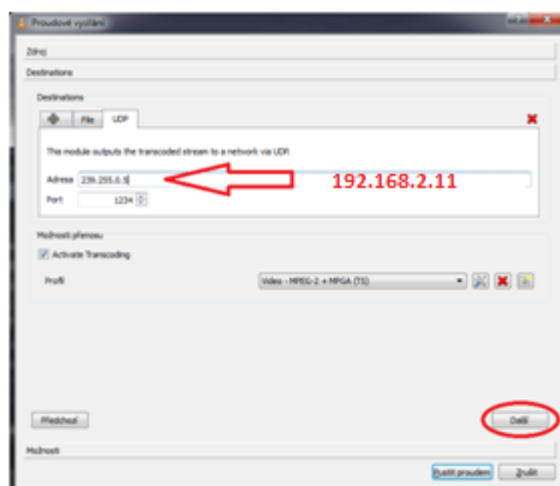
Obr.: 11 Nastavení VLC č. 3

3. Nejdříve vybereme v prvním rolovacím menu Nový cíl možnost **UDP (Legaci)**, dále v menu Profil vybereme **Video = MPEG-2 + MPEG(A(TS))** a nakonec zvolíme možnost **Přidat** (viz obr.: 12).



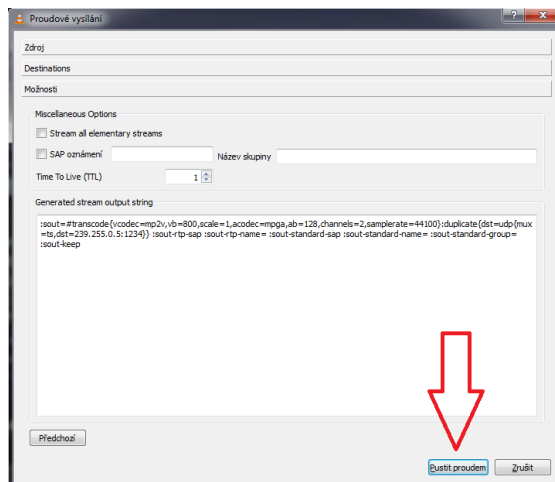
Obr.: 12 Nastavení VLC č. 4

4. Nyní vložíme adresu, na které budeme streamovat a postoupíme dále stisknutím volby **Další** (viz obr.: 13).



Obr.: 13 Nastavení VLC č. 5

5. Nyní můžeme stisknout tlačítko **Pustit proudem** a stream bude aktivní (viz obr.: 14).



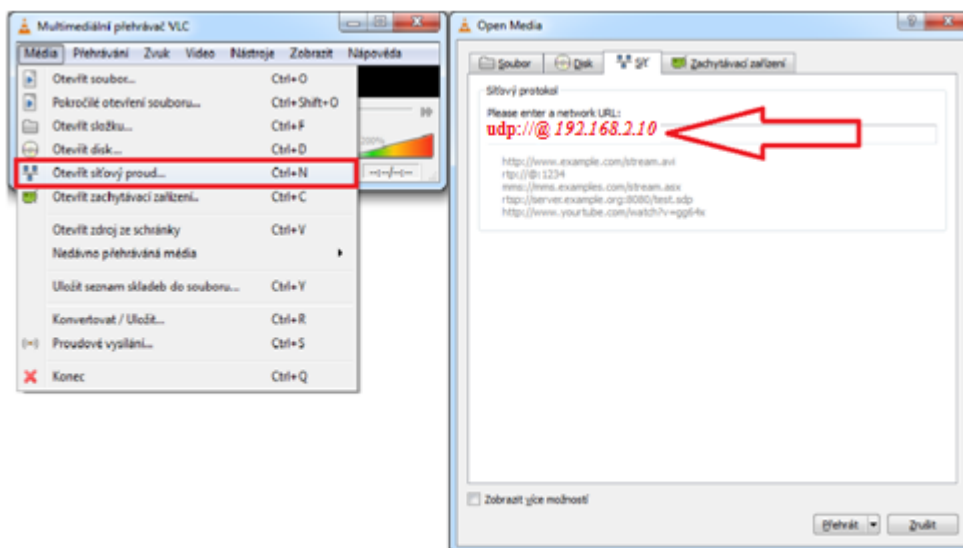
Obr.: 14 Nastavení VLC č. 6

Přehrávání je možno realizovat dvěma způsoby, v grafickém prostředí, nebo příkazem:

`% vlc -vvv udp:@192.168.2.10`

V grafickém prostředí v možnosti **Média**, vybereme možnost **Otevřít síťový proud** a zadáme adresu s přepnou **udp://@** (viz obr.: 15).

Vložíme příkaz: `udp://@ 192.168.2.10`



Obr.: 15 Nastavení VLC č. 4

7.2 Server GADMIN ProFTPD

Je velmi oblíbený a bezpečný FTP fileserver určený pro Linux, který je bezpečný a má uživatelsky přívětivou a jednoduchou konfiguraci. Díky knihovnám GTK+ je totiž možné Proftpd spravovat přes grafické rozhraní Gadmin.

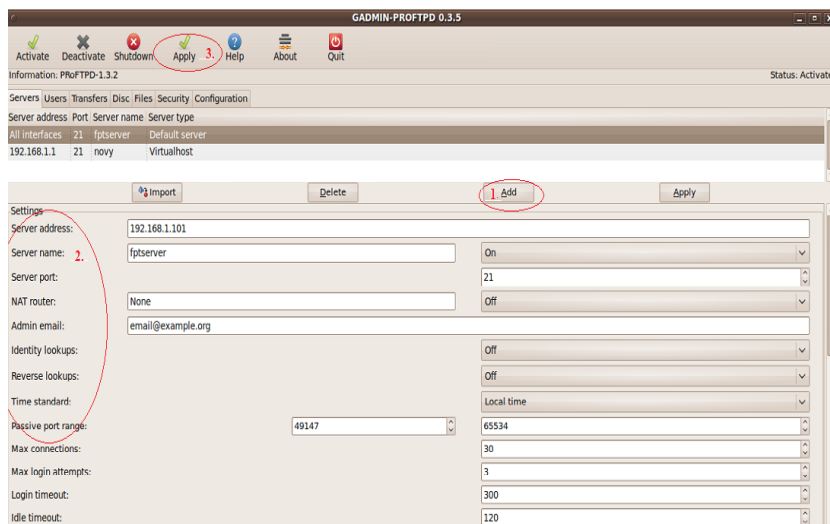
Hlavní výhody Proftpd:

- podpora IPv6
- možnost rozšíření funkčnosti pomocí modulů
- anonymní FTP účty
- velmi jednoduché přidávání FTP účtů a jejich nastavení

7.2.1 Nastavení serveru

NASTAVENÍ SERVERU V GRAFICKÉM PROSTŘEDÍ GADMIN

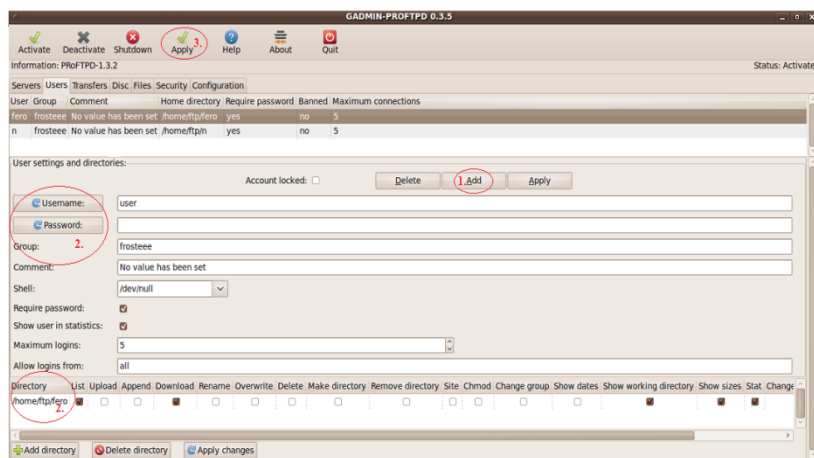
1. Vytvoření serveru - add.
2. Nastavení serveru - povinné údaje
 - server address,
 - server name,
 - port server,
 - NAT router,
 - admin email,
 - passive port range .
3. Uložení serveru - apply (viz obr.: 16)



Obr.: 16 Nastavení FTP č. 1

Tvorba uživatelského konta

1. Vytvoření serveru - add.
2. Nastavení serveru - povinné údaje
 - username,
 - password,
 - group,
 - directory.
3. Uložení serveru - apply (viz obr.: 17)



Obr.: 17 Nastavení FTP č. 2

7.3 Asterisk

V současné době nejrozšířenější volně dostupnou softwarovou realizací pobočkové ústředny představuje produkt Asterisk od firmy Digium™. Při vzniku Asterisku byl Mark Spencer, čerstvý absolvent Auburn University v Alabamě, který se v roce 1999 rozhodl napsat pro linux svůj vlastní software realizující pobočkovou ústřednu s hlasovou poštou (voice-mail) namísto zakoupení komerčního produktu. Údajně nebylo na PBX dost prostředků. Výstup své práce zveřejnil jako open-source a nabídl ho široké komunitě uživatelů, testerů a vývojářů. Asterisk je tedy open-source softwarová PBX určená pro instalaci na standardních PC a spolu se správným rozhraním může být použita jako PBX pro domácí uživatele, podniky, poskytovatele VoIP služeb a telefonní společnosti. Asterisk je rovněž open-source komunita a komerční produkt od firmy Digium. Systém je navržen tak, aby vytvořil rozhraní mezi telefonním hardwarem či softwarem a libovolnou telefonní aplikací. S jednotlivými protokoly SIP, IAX, H.323, pracuje Asterisk jako s kanály navázanými na jádro. DAHDI (Digium Hardware Device Interface) představuje rozhraní směrem k PSTN, může se jednat o ISDN BRI či PRI karty, FXS, FXO apod. Příkazový řádek CLI je silným nástrojem Asterisku, stejně jako Manager Interface. Srdcem Asterisku je Dialplan, kde je definováno chování v případě obsluhy požadavku, ať už odchozího či příchozího volání, anebo požadavku na vyvolání služby.

7.3.1 Kodeky a protokoly

Obvykle je snaha, aby bylo možné v dané datové síti realizovat co nejvíce hlasových spojení. Kodeky poskytují nové možnosti pro digitální přenos hlasu, včetně komprese. Je jednou z nejdůležitějších vlastností. Mezi další vlastnosti patří detekce hlasové aktivity, vyrovnání paketové ztráty a generování výplňového šumu. V Asterisku jsou podporovány následující kodeky s uvedenou šířkou pásma. Ty mohou být samozřejmě transparentně překládány z jednoho na druhý.

- G.711 ulaw (USA) - (64 Kbps).
- G.711 alaw (Europe) - (64 Kbps).
- G.722 širokopásmový kodek – (64 Kbps).
- G.723.1 – pouze pass-through režim.
- G.726 - (16/24/32/40kbps).
- G.729 – nutná licence (8Kbps).
- GSM - (12-13 Kbps).

- iLBC - (15 Kbps).
- LPC10 - (2.5 Kbps).
- ADPCM.
- Speex - (2.15-44.2 Kbps). [20]

Odesílání dat z jednoho telefonu do druhého by mělo být snadné za předpokladu, že si data sama najdou cestu skrz síť. V praxi je nutné pro toto směrování využívat signalizační protokoly. Dominantním a nejpoužívanějším signalizačním protokolem je SIP. Přesto existuje stále spousta systémů, které pro signalizaci ve VoIP síti využívají starších protokolů, jako jsou např. H.323. Jiný protokol IAX je zase nativním protokolem Asterisku a výborně prochází NATem. Seznam podporovaných signalizačních protokolů v Asterisku je uveden níže:

- SIP,
- H323,
- IAX2,
- MGCP,
- SCCP (Cisco Skinny),
- Nortel unistim. [20]

7.3.2 Instalace a konfigurace Asterixu

Nejdříve musíme nainstalovat software na pracovišti. Instalace lze provést dvěma způsoby, buď v grafickém rozhraní **Synaptic Package Manageru** v repozitáři universe, nebo pomocí příkazového řádku. Pro instalaci je nutné se přihlásit jako správce systému neboli root.

```
PC@PC:~$ sudo su
[sudo] password for PC: <password>
root@PC:/home/PC#
```

Pro aktualizaci systému použijeme příkaz:

```
# apt-get update
```

Tato aktualizace je nezbytná, protože se stáhnou potřebné komponenty systému, a bude trvat několik minut.

Po aktualizování systému, nainstalujeme Asterisk následujícím příkazem:

```
# apt-get install asterisk
```

Při instalaci musíme zadat předvolbu pro stát, ve kterém se nacházíme podle ITU. Pro Českou Republiku je to hodnota 420.

Nastavení probíhá tak, že upravujeme již existující konfigurační soubor **sip.conf** v adresáři `/etc/asterisk/`. Pro editaci použijeme textový editor nano, který je integrován v základní distribuci použitého linuxu. Zde povolíme kodeky a vytvoříme SIP účty. Pro otevření a editaci zadejte do terminálu následující příkaz:

```
# nano /etc/asterisk/sip.conf.
```

Pro nastavené kodeků připišeme na konec konfiguračního souboru následující text:

| | |
|----------------------|----------------------------------|
| dialallow=all | ;zakázání všech kodeků, |
| allow=ulaw | ;povolení kodeku PCM μ -law, |
| allow=alaw | ;povolení kodeku PCM A-law, |
| allow=gsm | ;povolení GSM kodeku, |
| allow=ilbc | ;povolení ILBC kodeku. |

V následujícím kroku vytvoříme SIP účty, jak je vidět z následujících instrukcí. Pro vytvoření dalších účtu pozměníme jméno, heslo a zobrazované údaje volajícímu.

| | |
|-----------------------------------|---|
| [1111] | účet se jménem 1111, |
| type=friend | ; typ účtu, friend = komunikace pomocí SIP zpráv, |
| host=dynamic | ; přihlášení účtu z libovolné IP adresy, |
| context=voip | ; umístění v dialplanu, |
| username=1111 | ; jméno účtu při registraci, |
| secret=1111 | ; heslo účtu, |
| callerid=1111 <1111> | ; zobrazený údaj volajícímu, |

Po tomto kroku uložíme změny stiskem klávesové zkratky ctrl+x.

Nyní otevřeme konfigurační soubor **extensions.conf**, kde nastavíme diaplan a číslování.

```
# nano /etc/asterisk/extensions.conf
```

Na konec tohoto konfiguračního souboru připišeme následující příkazy, které nám po přihlášení poskytnou propojení těchto účtů.

```
[voip] ; název kontextu zadávaný u SIP účtů  
exten => _100.,1,Dial(SIP/${EXTEN})
```

Po tomto kroku uložíme nastavení stiskem kombinací kláves ctrl + x.

Nyní musíme restartovat Asterisk, a tím uvést změny v platnost. Použijeme následující příkaz pro otevření příkazové řádky Asterisku:

```
# asterisk -rvvv
```

Samotný restart a odhlášení Asterisku provedeme následovně:

```
PC*CLI> reload  
PC*CLI> exit
```

Tímto jsme aktivovali všechny provedené změny a Asterisk je nyní připraven na připojení softwarových či hardwarových telefonů. Při výzvě o vyplnění IP SIP proxy adresy zadáme IP adresu PC, kde je nainstalovaný Asterisk. Uživatelské jméno a heslo nastavíme podle předešlé konfigurace SIP účtů. [23]

7.4 Integrace služeb triple play na OLT

Pro jednotlivé služby Triple Play je nutno vytvořit VLANy a přiřadit na ně QoS profily nazvané QOSPOLICY. Tyto profily mají specifikace, které ovlivňují přenosové parametry, jako rychlost datového toku, velikost burstu a označují citlivost dat. Burst je dávkovací režim OLT a ONU jednotek, kde jsou rámce odeslány hromadně, tedy v jednom burstu. Nastavuje se velikost

burstu pro vzestupný i sestupný směr (downburstsize a upburstsize). Tento způsob přenosu zmenší režii protokolu a sníží počet odeslaných služebních zpráv. Vzniká ale zpoždění z důvodu uchování rámců ve vyrovnávací paměti. Proto se v QoS profilu udává i tolerance na zpoždění v sestupném i vzestupném směru (downdelaysensitivity a updelaysensitivity). Dále jsou zde parametry pro omezení minimální přenosové rychlosti v obou směrech (mindownstreamrate, minupstreamrate), který stanoví nejnižší garantovanou povolenou rychlost pro danou službu. Další z parametrů qospolicy je omezení maximální přenosové rychlosti pro oba směry (maxupstreamrate, maxdownstreamrate). Nastavená maximální hodnota není garantovaná a mění se v závislosti na využití přenosové kapacity traktu. Při malém zatížení traktu stoupne přenosová rychlost až na maximální nastavenou hodnotu a v případě plného využití traktu klesne přenosová rychlost na námi stanovenou minimální hranici. [22]

Komunikace mezi OLT a PC probíhá přes metalické Ethernet vedení, připojené do portu console na řídicí kartě OLT. Na konfiguračním PC využijeme Hyper Terminál nebo jiný Telnet manager. Je potřeba nastavit parametry komunikace. Rychlost 9600 bps, datové bity 8, parita žádná a řízení žádné.

Nyní je připraveno dialogové okno pro správu OLT, kde je potřeba vyplnit přihlašovací údaje:

Jméno: *officer*

Heslo: *officer*

Po přihlášení na OLT je možné nastavit parametry pro správu přenosu.

Vytvoření ONU na EPON2 rozhraní, které přiřadí ETH rozhraní do netagované VLAN VID= 1

```
CREATE ONU my_onu ONUID=0 INT=2.0 MAC=XX:XX:XX:XX:XX:XX type TK3713
```

Vytvoření VLANů

```
CREATE VLAN=VIDEO VID=300
```

```
CREATE VLAN=VOICE VID=400
```

```
CREATE VLAN=DATA VID=500
```

```
CREATE VLAN=VIDEO VID=600
```

Přiřazení RG Mgmt VLAN s ETH rozhraním a definování QOSPOLICY

```
>ADD VLAN 300 INT [2.0.0],[4.0] FRAME TAGGED  
>CREATE QOSPOLICY RG_MGMT UPMIN=512K UPMAX=1M DOWNMIN=64K  
DOWNMAX=1M  
>ADD QOSPOLICY=RG_MGMT INT=2.0.0 BIDIR VID=300
```

Přiřazení VLAN data (VID=400) s ETH rozhraním a definování QOSPOLICY

```
>ADD VLAN 400 INT [2.0.0],[4.0] FRAME TAGGED  
>CREATE QOSPOLICY DATA_GOLD UPMIN=40M UPMAX=40M DOWNMIN=30M  
DOWNMAX=30M  
>ADD QOSPOLICY=DATA_GOLD INT=2.0.0 BIDIR VID=400
```

Přiřazení VLAN voice (600) s ETH rozhraním a definování QOSPOLICY

```
>ADD VLAN 600 INT [2.0.0],[4.0] FRAME TAGGED  
>CREATE QOSPOLICY VOIP_2PHONE UPMIN=1M UPMAX=1M DOWNMIN=64k  
DOWNMAX=64K  
>ADD QOSPOLICY=VOIP_2PHONE INT=2.0.0 BIDIR VID=500
```

Přiřazení VLAN video (500) s ETH rozhraním a definování QOSPOLICY

```
>CREATE QOSPOLICY IPMC_UNICAST UPMIN=10M UPMAX=10M DOWNMIN=4M  
DOWNMAX=4M  
>ADD VLAN 500 INT [2.0.0],[4.0] FRAME TAGGED  
>ADD QOSPOLICY=IPMC_UNICAST INT=2.0.0 BIDIR VID=500  
>ENABLE IGMP INT 2.0.0
```

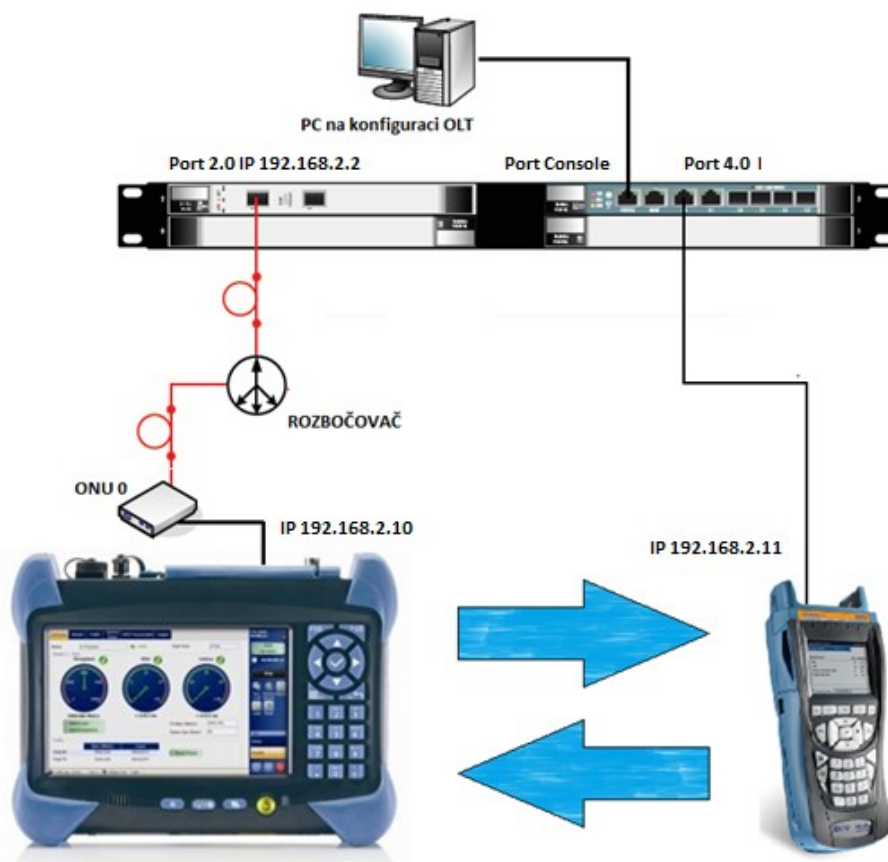
Po těchto krocích je OLT připravené na provoz služeb triple play.

8 Měření služby triple play v síti GePON

Měřicí přístroj EXFO FTB-1/860 při měření standartu ITU-T Y.156sam, stejně jako u měření RFC 2544, si sám generuje jednotlivé datové toky. Pro větší transparentnost a přehlednost jsem zvolil jednodušší nastavení OLT. Toto nastavení je založené na jedné VLAN s jedním nastavením QOSPOLICY, které je snadno konfigurovatelné a přehledné. S ohledem k délce vyučování a časové náročnosti měření bylo toto nastavení nevyhnutelné.

8.1 Topologie sítě

Použitá topologie (viz obr.: 18) je jednostupňové dělení s dělicím poměrem 1:16ti. Na OLT portu 4.0 je umístěn měřicí přístroj EXFO ASX 200/850, který je nastavený jako LoopBack jednotka. V tomto módu přijímá datové rámce, kterým ihned změní cílovou adresu a odešle je zpět k měřicímu přístroji EXFO FTB-1/860.



Obr.: 18 Topologie sítě

8.2 Seznámení s komponenty a měřicími přístroji

Nejprve se je třeba se seznámit s komponenty v racku, jednotkou ONU a použitými měřicími přístroji. Je zde umístěna jednotka OLT (viz obr.: 19), kde je znázorněn port 2.0 na kartě EPON2, který je stěžejní, protože přes něj probíhá veškerá komunikace. Přes metalický CONSOLE port probíhá komunikace a konfigurace OLT. Na metalickém PORTu 4.0 se připojuje měřicí přístroj EXFO AXS 200/850, který je v režimu Smart Loop.



Obr.: 19 MiniMAP 9102

Jako další komponenta je zde umístěn pasivní optický rozbočovač s dělicím poměrem 1:16. Na tomto rozbočovači jsou v levé části výstupní porty, ve střední části jsou neobsazené porty a v levé části je vstupní port. Všechny porty jsou SC s plochým zakončením PC (viz obr.: 20).



Obr.: 20 Rozbočovač

V racu jsou taktéž vyvedeny optické trasy z jednotlivých stanovišť v učebně. Je jich celkem 5, přičemž každé jedno pracoviště má 4 konektory, dvě se zakončením PC a dvě se zakončením APC (viz obr.: 21).



Obr.: 21 Vyvedení pracovišť v racku

Jednotka ONU je Mediakonvertor AT-ON1000. Tato jednotka je navržena na propustnost 1Gbps v obou směrech provozu a konvertuje optické signály na signály přenášené přes metalické vedení. Je znázorněná na obrázku (viz obr.: 22)



Obr.: 22 Mediakonvertor AT-ON1000

Měřicí přístroj EXFO ASX 200/850 je znázorněn na obrázku (viz obr.: 23). Tento přístroj má sadu funkcí, které zahrnují obousměrné testování dle doporučení RFC 2544, monitorování provozu, multistreamové pozadí provozu, BERT, IP konektivitu, ping a tracerout. Tento měřicí přístroj má dále implementovány funkce pro testování metalických kabelů, testování QoS přes VLANy v metropolitních sítích. Pro toto měření je nejdůležitější funkce Smart Loop, která z EXFO ASX 200/850 udělá Loop Back jednotku, která bude přijímat a následně přeposílat data zpět do ODN.



Obr.: 23 Měřicí přístroj EXFO AIS 200/850

Měřicí přístroj AXFO FTB-1/860 NetBlazer (viz obr.: 24) ověřuje Ethernet služby a plně podporuje měření EtherSAM, RFC 2544, BERT a mnoho dalších testovacích aplikací. Má dva Ethernet porty a dva optické porty.



Obr.: 24 Měřicí přístroj AXFO FTB-1/860 NetBlazer

8.3 Konfigurace OLT

Na konfiguračním PC použijeme Hyper Terminál nebo jiný Telnet manager. Je potřeba nastavit parametry komunikace. Rychlost 9600 bps, datové bity 8, parita žádná a řízení žádné. Nyní je připraveno dialogové okno pro správu OLT, kde je potřeba vyplnit přihlašovací údaje:

Jméno: *officer*

Heslo: *officer*

Po přihlášení na OLT je možné nastavit parametry pro správu přenosu.

Nastavte IP adresu 192.168.2.1 pro rozhraní modulu EPON příkazem:

SET INTERFACE=2.0 EPON IPADDRESS=192.168.2.1

Vytvoření a přiřazení ONU jednotky na OLT:

CREATE ONU=ONU0 ONUID=0 INTERFACE=2.0 MAC=<mac adresa jednotky>
TYPE=TK3713

Správné vytvoření jednotek ověřte příkazem:

SHOW ONU 2.0.0

Vytvoření VLAN:

CREATE VLAN=TEST VID=100

Přiřazení vlan na rozhraní ONU jednotky:

ADD VLAN 100 INT [2.0.0],[4.0] FRAME UNTAGGED

Vytvoření QoS profilu na měření EtherSAM (viz obr.: 25):

CREATE QOSPOLICY=test MAXUPSTREAMRATE=800M DOWNSTREAMRATE=800M
MINUPSTREAMRATE=800M MINDOWNSTREAMRATE=800M UPBURSTSIZE=256K
DOWNBURSTSIZE=256K DOWNPRIORITYBURSTSIZE=256K
UPDELAYSENSITIVITY=tolerant DOWNDelaySensitivity=tolerant


```
officer SEC>> sh qospolicy test
```

```
--- Qos Policy Data ---
```

```
Name..... test
Id..... 117
Description..... <none>
Max Upstream Rate..... 800Mbps
Max Downstream Rate..... 800Mbps
Min Upstream Rate..... 800Mbps
Min Downstream Rate..... 800Mbps
Upstream Burst Size..... 256K
Downstream Burst Size..... 256K
Downstream Priority Burst Size.. 256K
Upstream Delay Sensitivity..... Tolerant
Downstream Delay Sensitivity.... Tolerant
Associated Interfaces
  BIDIRECTIONAL..... onu0/250
    Max Upstream Rate..... 800.256Mbps
    Max Downstream Rate..... 800.256Mbps
```

Obr.: 25 Kontrola nastavení OLT EtherSAM

Přiřazení Qos profilu na použité rozhraní

```
ADD QOSPOLICY=TEST INTERFACE= 2.0.0 BIDIRECTIONAL VLAN=100
```

Změna QoS profilu na měření RFC 2544 video (viz obr.: 26):

```
SET QOSPOLICY=test MAXUPSTREAMRATE=10M DOWNSTREAMRATE=10M
MINUPSTREAMRATE=4M MINDOWNSTREAMRATE=4M UPBURSTSIZE=256K
DOWNBURSTSIZE=256K DOWNPRIORITYBURSTSIZE=256K
UPDELAYSENSITIVITY=tolerant DOWNDELAYSENSITIVITY=tolerant
```

```
officer SEC>> sh qospolicy test
```

```
--- Qos Policy Data ---
```

```
Name..... test
Id..... 117
Description..... <none>
Max Upstream Rate..... 10Mbps
Max Downstream Rate..... 10Mbps
Min Upstream Rate..... 4Mbps
Min Downstream Rate..... 4Mbps
Upstream Burst Size..... 256K
Downstream Burst Size..... 256K
Downstream Priority Burst Size.. 256K
Upstream Delay Sensitivity..... Tolerant
Downstream Delay Sensitivity.... Tolerant
Associated Interfaces
  BIDIRECTIONAL..... onu0/250
```

Obr.: 26 Kontrola nastavení OLT VIDEO

Změna QoS profilu na měření RFC 2544 data (viz obr.: 27):

```
SET    QOSPOLICY=test    MAXUPSTREAMRATE=40M    DOWNSTREAMRATE=40M
MINUPSTREAMRATE=30M MINDOWNSTREAMRATE=30M UPBURSTSIZE=256K
DOWNBURSTSIZE=256K DOWNPRIORITYBURSTSIZE=256K
UPDELAYSENSITIVITY=tolerant DOWNDELAYSENSITIVITY=tolerant
```

```
--- Qos Policy Data ---
Name..... test
Id..... 117
Description..... <none>
Max Upstream Rate..... 40Mbps
Max Downstream Rate..... 40Mbps
Min Upstream Rate..... 30Mbps
Min Downstream Rate..... 30Mbps
Upstream Burst Size..... 256K
Downstream Burst Size..... 256K
Downstream Priority Burst Size.. 256K
Upstream Delay Sensitivity..... Tolerant
Downstream Delay Sensitivity.... Tolerant
Associated Interfaces
  BIDIRECTIONAL..... onu0/250
```

Obr.: 27 Kontrola nastavení OLT DATA

Změna QoS profilu na měření RFC 2544 voice (viz obr.: 28):

```
SET    QOSPOLICY=test    MAXUPSTREAMRATE=1M    DOWNSTREAMRATE=M
MINUPSTREAMRATE=64K MINDOWNSTREAMRATE=64k UPBURSTSIZE=64K
DOWNBURSTSIZE=64K DOWNPRIORITYBURSTSIZE=64K
UPDELAYSENSITIVITY=sensitive DOWNDELAYSENSITIVITY=tolerant
```

```
pfficer SEC>> show qospolicy test
```

```
--- Qos Policy Data ---
Name..... test
Id..... 117
Description..... <none>
Max Upstream Rate..... 1Mbps
Max Downstream Rate..... 1Mbps
Min Upstream Rate..... 64Kbps
Min Downstream Rate..... 64Kbps
Upstream Burst Size..... 64K
Downstream Burst Size..... 64K
Downstream Priority Burst Size.. 64K
Upstream Delay Sensitivity..... Tolerant
Downstream Delay Sensitivity.... Tolerant
Associated Interfaces
  BIDIRECTIONAL..... onu0/250
    Min Upstream Rate..... 256kbps
    Min Downstream Rate..... 256kbps
```

Obr.: 28 Kontrola nastavení OLT DATA

Pro uvedení pracoviště do původního stavu jsou potřeba následující příkazy:

DESTROY ONU ONU0

DESTROY QOSPOLICY TEST

DELETE VLAN VID 100 INTERFACE [2.0.0],[4.0]

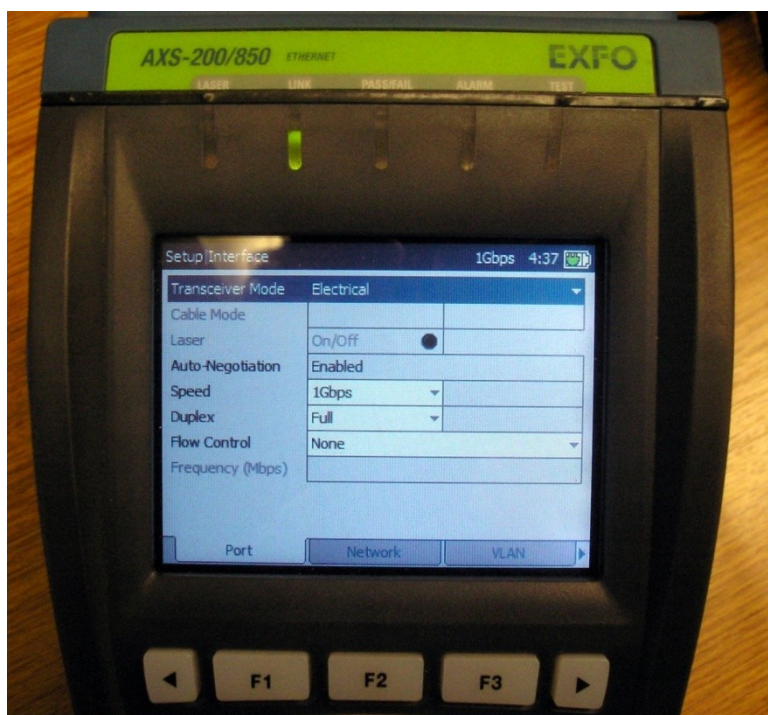
DESTROY VLAN 100

SET INTERFACE=2.0 EPON IPADDRESS=0.0.0.0

8.4 Nastavení měřicích přístrojů

EXFO AXS 200/850

Nejdříve nastavíme měřicí přístroj EXFO AXS 200/850, který bude v módu Smart Loopback. V hlavním menu vybereme možnost **SETUP** a poté záložku **INTERFACE**, kde se pomocí klávesy **F1** dostaneme na nastavení portu (viz obr.: 29).



Obr.: 29 Nastavení EXFO AXS 200/850 č.1

V dalším kroku stiskneme klávesu **F2** a nastavíme položku **NETWORK** (viz obr.: 30).



Obr.: 30 Nastavení EXFO AXS 200/850 č.1

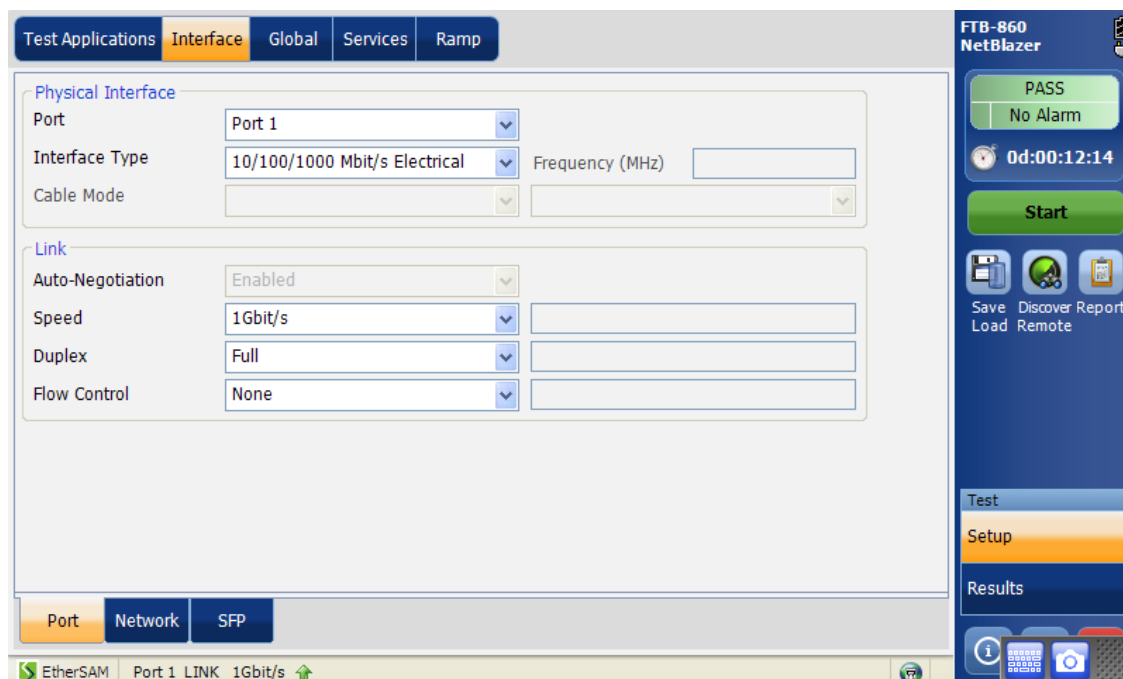
Poté se vrátíme zpět do hlavního menu a vybereme možnost **Smart Loopback** a uvedeme měřicí přístroj do aktivního stavu stiskem klávesy **START**. Nyní je EXFO AXS 200/850 připraven přijímat a odesílat data.

EXFO FTB-1/860

Po zapnutí měřicího přístroje EXFO FTB-1/860 vybereme poklepáním na obrazovku ikonu **Netblazer**. Po spuštění aplikace vybereme možnost FTB-1/860, v tomto menu jsou jednotlivé druhy testů.

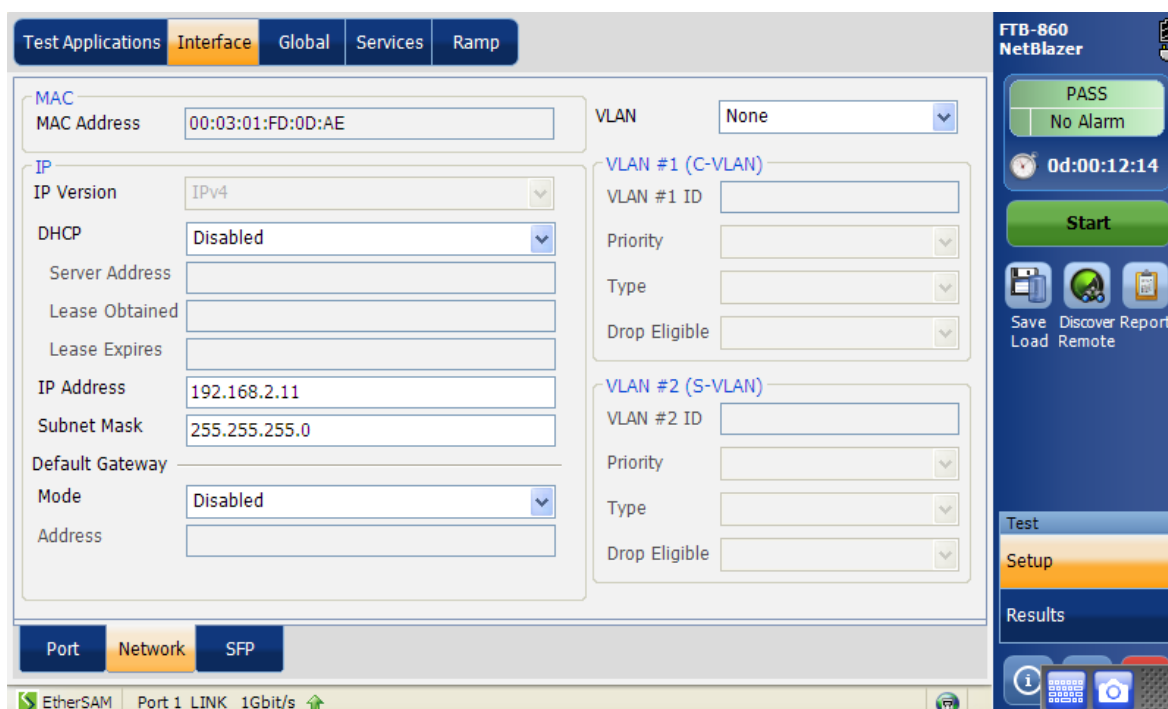
Pro měření EtherSAM bude následující postup:

V položce **INTERFACE** zvolíme nastavení, jako je na obrázku (viz obr.: 31).



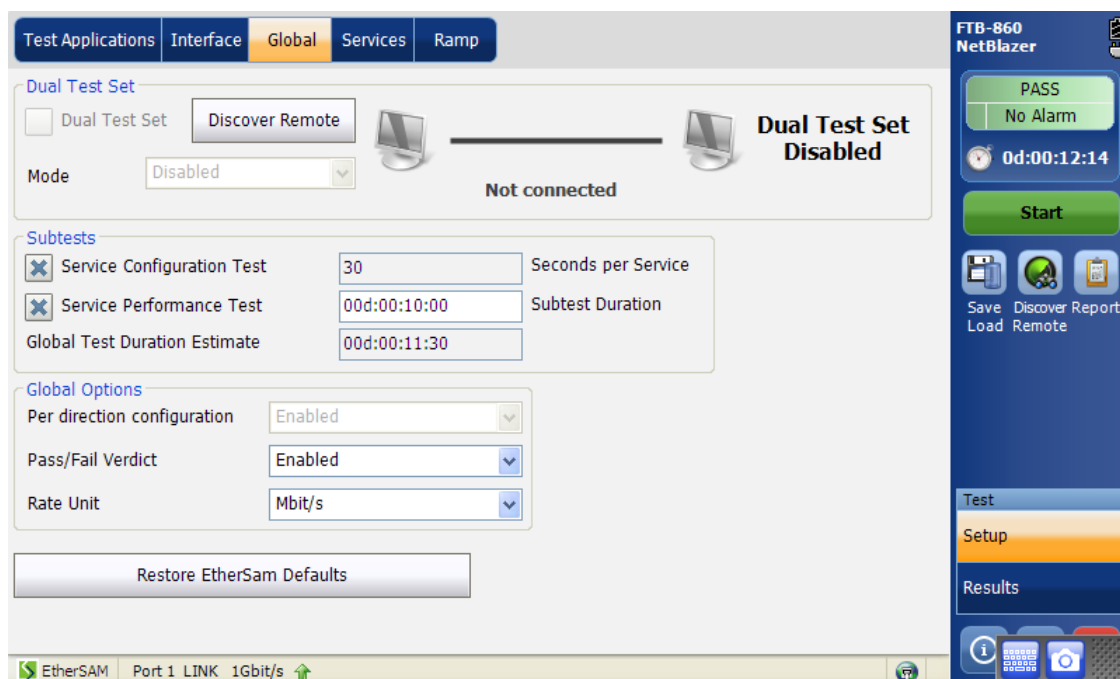
Obr.: 31 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 1

V kartě interface vybereme možnost **NETWORK** a nastavíme síťové hodnoty jako na obrázku (viz obr.: 32).



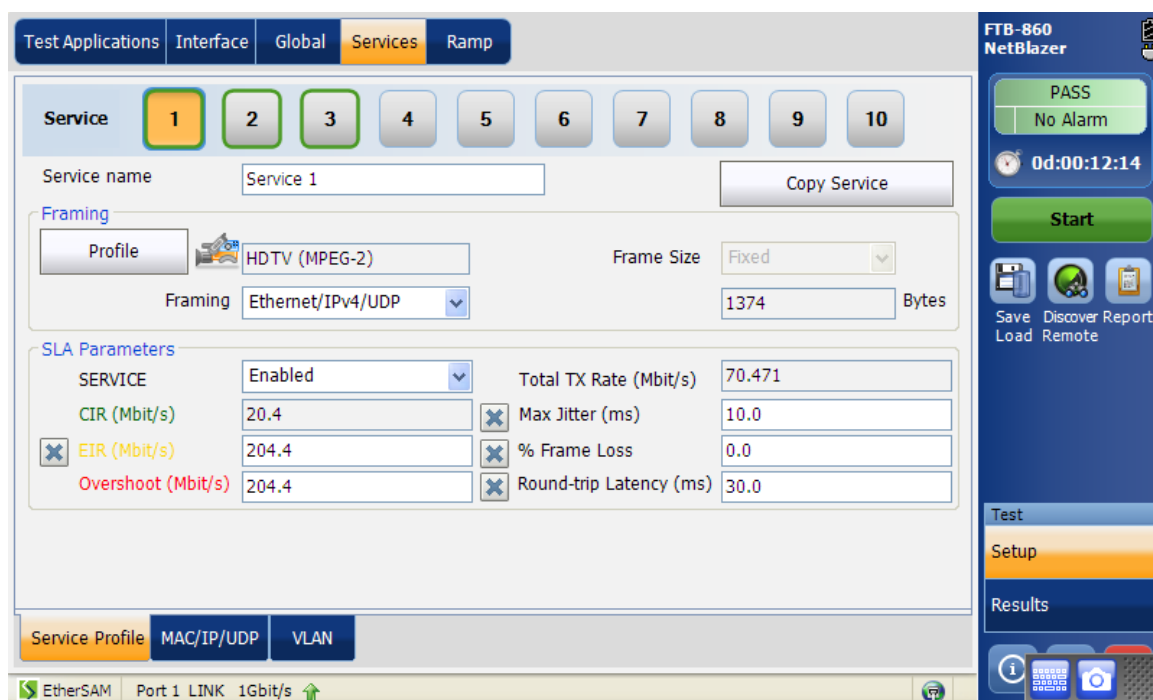
Obr.: 32 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 2

V kartě **GLOBAL** vybereme možnost **Discovery Remote**, kde vyhledáme LoopBack jednotku a přiřadíme ji do stavu **Looped UP** (viz obr.: 33).



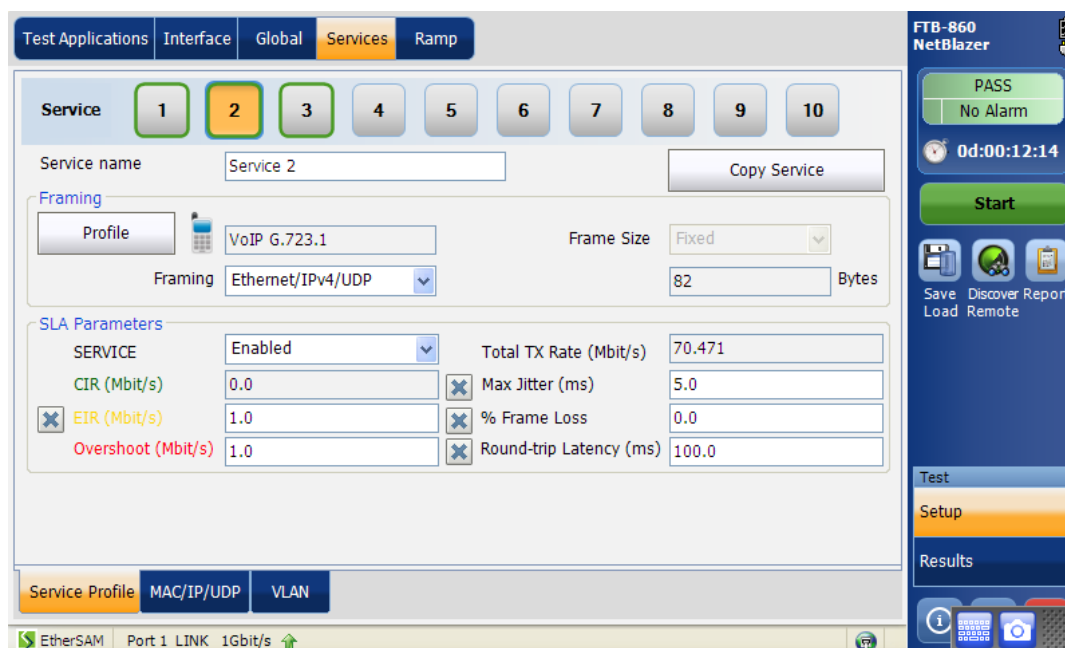
Obr.: 33 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 3

Poté nastavíme v kartě **SERVICE** jednotlivé služby (viz obr.: 34).



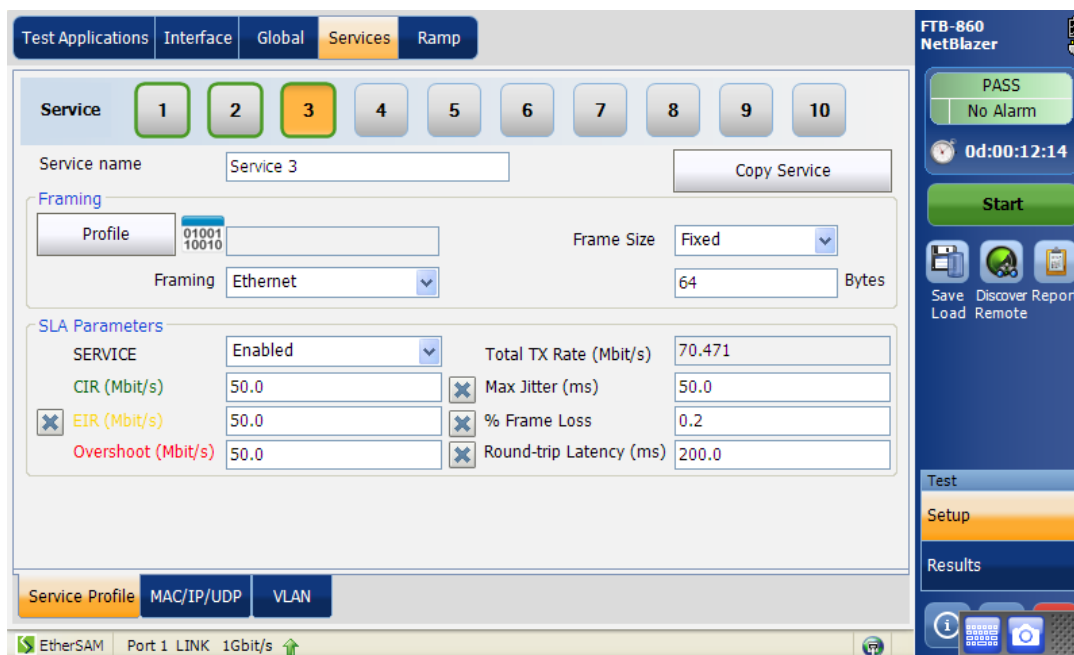
Obr.: 34 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 4

Service 2 pro VoIP nastavíme tak, jak je zobrazeno na obrázku (viz obr.: 35).



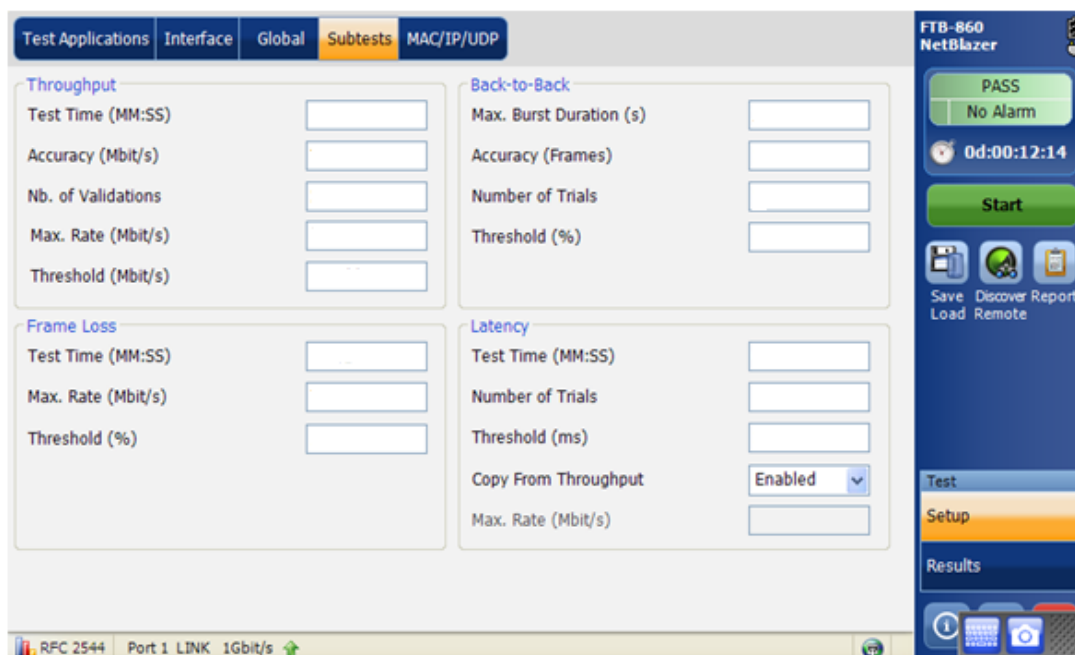
Obr.: 35 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 5

Service 3 pro data nastavíme podle obrázku (viz obr.: 36).



Obr.: 36 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 6

Při měření RFC 2544 ponecháme nastavené hodnoty z předchozího měření EtherSAM v kartě **INTERFACE**. Měníme pouze hodnoty v kartě **SUBTESTS** (viz obr.: 37).



Obr.: 37 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 7

Pro měření RFC 2544 s nakonfigurovanými hodnotami QoS pro DATA nastavíme hodnoty do karty **SUBTEST** z tabulky (viz Tab.: 2).

| Nastavení SUBTEST hodnot na měření RFC 2544 DATA | | | |
|---|-------|-------------------------|---------|
| Throughput | | Back-to-Back | |
| Test Time [MM:SS] | 00:01 | Max. Burst Duration [s] | 2 |
| Accuracy [Mbps] | 40 | Accuracy [Frames] | 1 |
| Nb. Of Validations | 1 | Number of Trials | 1 |
| Max. Raite [Mbps] | 40 | Threshold [%] | 100 |
| Threshold [Mbps] | 40 | | |
| Frame Loss | | Latency | |
| Test Time [MM:SS] | 00:01 | Test Time [MM:SS] | 00:01 |
| Max. Raite [Mbps] | 40 | Number of Trials | 1 |
| Threshold [Mbps] | 0.1 | Threshold [%] | 125 |
| | | Copy from Throuhput | enabled |

Tab.: 2 Nastavení subtest na EXFO FTB-1/860 pro DATA

Pro měření RFC 2544 s nakonfigurovanými hodnotami QoS pro VIDEO nastavíme hodnoty do karty **SUBTEST** z tabulky (viz Tab.: 3).

| Nastavení SUBTEST hodnot na měření RFC 2544 VIDEO | | | |
|--|-------|-------------------------|---------|
| Throughput | | Back-to-Back | |
| Test Time [MM:SS] | 00:01 | Max. Burst Duration [s] | 2 |
| Accuracy [Mbps] | 10 | Accuracy [Frames] | 1 |
| Nb. Of Validations | 1 | Number of Trials | 1 |
| Max. Raite [Mbps] | 10 | Threshold [%] | 100 |
| Threshold [Mbps] | 10 | | |
| Frame Loss | | Latency | |
| Test Time [MM:SS] | 00:01 | Test Time [MM:SS] | 00:01 |
| Max. Raite [Mbps] | 10 | Number of Trials | 1 |
| Threshold [Mbps] | 0.1 | Threshold [%] | 125 |
| | | Copy from Throuhput | enabled |

Tab.: 3 Nastavení subtest na EXFO FTB-1/86O pro VIDEO

Pro měření RFC 2544 s nakonfigurovanými hodnotami QoS pro VOICE nastavíme hodnoty do karty **SUBTEST** z tabulky (viz Tab.: 4).

| Nastavení SUBTEST hodnot na měření RFC 2544 VOICE | | | |
|--|-------|-------------------------|---------|
| Throughput | | Back-to-Back | |
| Test Time [MM:SS] | 00:01 | Max. Burst Duration [s] | 2 |
| Accuracy [Mbps] | 0.5 | Accuracy [Frames] | 1 |
| Nb. Of Validations | 1 | Number of Trials | 1 |
| Max. Raite [Mbps] | 0,5 | Threshold [%] | 100 |
| Threshold [Mbps] | 0,5 | | |
| Frame Loss | | Latency | |
| Test Time [MM:SS] | 00:01 | Test Time [MM:SS] | 00:01 |
| Max. Raite [Mbps] | 0,5 | Number of Trials | 1 |
| Threshold [Mbps] | 0.1 | Threshold [%] | 125 |
| | | Copy from Throuhput | enabled |

Tab.: 4 nastavení subtest na EXFO FTB-1/86O pro VOICE

8.5 Průběh měření v bodech

- Propojte port 2.0 EPON do splitteru 1:16 vláknem, dle normy ITU-T G.652 D se zakončením SC(PC) a SC (APC)
- Propojte potřebná pracoviště v patch panelu se splitterem vlákny, dle normy ITU-T G.652 D se zakončením SC(PC) a SC (APC).
- Propojte ONU jednotku s pracovištěm vláknem, dle normy ITU-T G.652 D se zakončením SC(PC) a SC (APC).
- Propojte metalickým Ethernet kabelem jednotku ONU a měřicí přístroj AXFO FTB-1/860 a propojte PORT 4.0 na OLT s měřicím přístrojem EXFO AXS200/850 metalickým Ethernet kabelem.
- Nakonfigurujte OLT na měření EtherSAM
- Nakonfigurujte měřicí přístroj AXS 200/850
- Nakonfigurujte měřicí přístroj FTB-1/860, dle návodu na měření EtherSAM
- Zahajte měření a výsledné hodnoty uložte na flash medium
- Změna QoS profilu na měření RFC 2544 video
- Nakonfigurujte měřicí přístroj FTB-1/860, dle návodu na měření RFC 2544 video
- Zahajte měření a výsledné hodnoty uložte na flash medium
- Změna QoS profilu na měření RFC 2544 data
- Nakonfigurujte měřicí přístroj FTB-1/860, dle návodu na měření RFC 2544 data
- Zahajte měření a výsledné hodnoty uložte na flash medium
- Změna QoS profilu na měření RFC 2544 voice
- Nakonfigurujte měřicí přístroj FTB-1/860, dle návodu na měření RFC 2544 voice
- Zahajte měření a výsledné hodnoty uložte na flash medium
- Uved'te nastavení měřicích přístrojů do původního stavu
- Uved'te nastavení OLT do původního stavu

8.6 Naměřené hodnoty

Měřicí přístroj FTB-1/860 sám vyhodnotí veškeré naměřené hodnoty. Jako výstup měření je pdf soubor s nastavenými parametry, neměřenými hodnotami a v případě měření RFC 2544 vyhotoví graficky zpracované naměřené hodnoty ve formě sloupcových grafů.

8.6.1 Měření EtherSAM

V první fázi měření, kde se ověřuje test konfigurace služeb, prošly úspěšně všechny tři služby. CIR parametr, který zavazuje rychlost a šířku pásma pro danou službu, byl nastaven u videa na 20 Mbps, u VoIP na 0,1 Mbps a u datové služby byl nastaven na 100 Mbps. Maximální kolísání neboli jitter, je u Video na hodnotě 3,947 ms, u VoIP má hodnotu 3,726 ms a u testu datových služeb Data dosáhl hodnoty 0.521 ms. Všechny tyto hodnoty kolísání jsou v přijatelných mezích a zaručují výbornou kvalitu služeb. Nedošlo k žádné ztrátě rámců ani u jedné služby. Zpětné zpoždění má vyšší hodnoty, ale také spadá do přijatelných mezí, a nijak nám nebude ovlivňovat kvalitu přenosu. Maximální propustnost je u všech tří služeb, vzhledem k omezení EIR, taktéž na přijatelné hodnotě. Výsledný verdikt je tedy vyhovující pro všechny tři služby. Výsledné hodnoty testu jsou v tabulce (viz Tab.: 5).

| Test konfigurace služeb | | | |
|-------------------------|------------|------------|------------|
| Test | Video | VoIP | Data |
| CIR | 20,4 | 0,1 | 100,0 |
| Max kolísání [ms] | 3,947 | 3,726 | 0,521 |
| Ztráta rámců [%] | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Zpáteční zpoždění [ms] | 4,547 | 4,327 | 0,970 |
| Max propustnost [MbPS] | 204,448 | 1,264 | 100,002 |
| SLA Verdikt | vyhovující | vyhovující | vyhovující |

Tab.: 5 Výsledné hodnoty testu konfigurace služeb EtherSAM

Test výkonu služeb naměřil průměrnou propustnost dat u Video 20,444 Mbps, u VoIP 0.126 Mbps a u testu datových služeb Data 100 Mbps, což jsou vzhledem k nastaveným CIR vyhovující hodnoty. Maximální kolísání je také u všech tří služeb na přijatelných hodnotách. Zaručují výbornou kvalitu služeb. Při měření nebyly ztraceny žádné rámce. U testu zpoždění byla naměřena větší hodnota u služby Video. Toto zpoždění je nejspíše způsobeno použitím MPEG-2

kodeku, který vykazuje větší zpoždění při streamu. Ostatní hodnoty zpoždění byly v přijatelných mezích, zaručují tedy bezproblémový provoz služeb. V celkovém verdiktu prošly všechny služby. Celkové zhodnocení služeb je v tabulce (viz Tab.: 6).

| Test výkonu služeb | | | |
|--------------------------|------------|------------|------------|
| Test | Video | VoIP | Data |
| Prům. Propustnost [Mbps] | 20,444 | 0,126 | 100,000 |
| Maximální Kolísání [ms] | 0,477 | 0,287 | 0,591 |
| Ztráta rámců [%] | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Zpáteční Zpoždění [ms] | 0,972 | 0,723 | 0,972 |
| Verdikt služby | vyhovující | vyhovující | vyhovující |

Tab.: 6 Výsledné hodnoty testu výkonu služeb EtherSAM

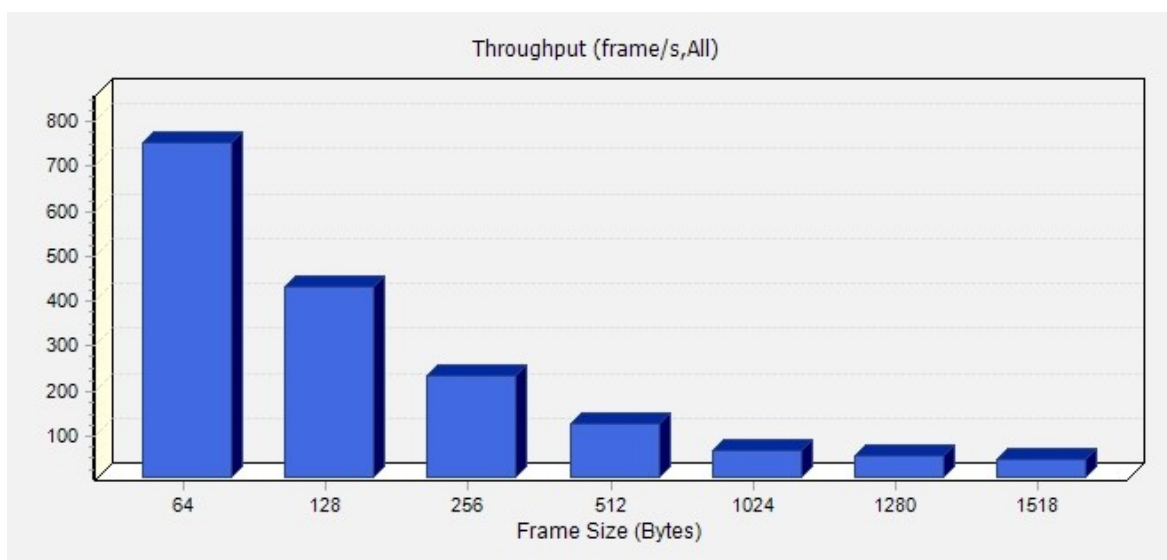
8.6.2 Měření RFC 2544

Měřicí přístroj EXFO FTB-1/860 generuje datové rámce o velikosti 64 b, 128 b, 256 b, 512 b, 1024 b, 1280 b a 1518 b. Těmito rámci testuje propustnosti (Troughput), zatížitelnosti (Back to back), ztrátovosti (Frame loss) a zpoždění (latency).

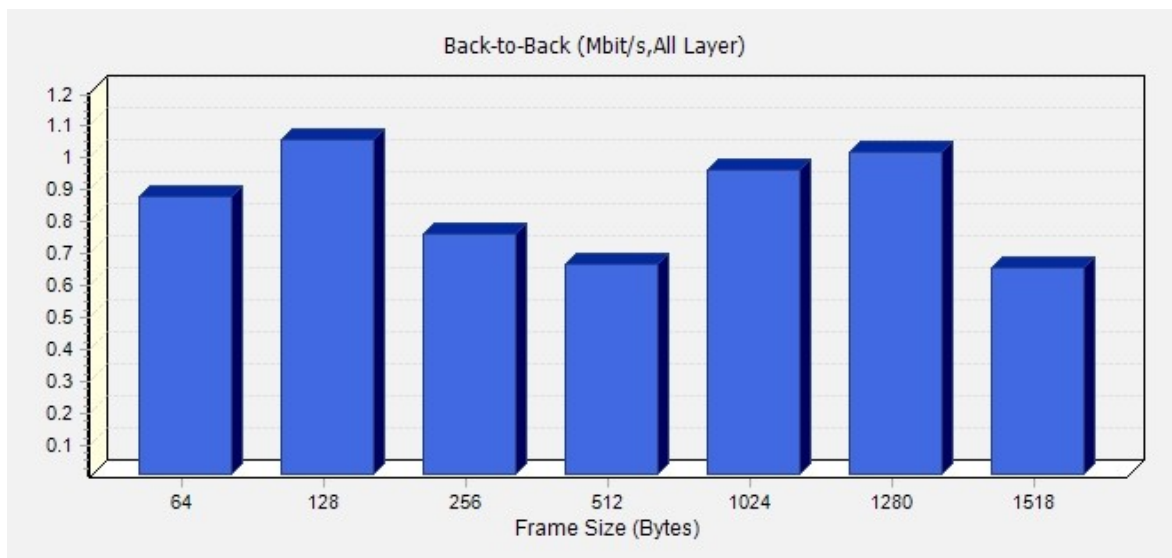
Při nastavení QoS parametrů na přenos VoIP byla propustnost v přijatelných hodnotách a celkový verdikt je vyhovující. Nebyly ztraceny žádné rámce, což značí dobrou konektivitu. Naměřená zpoždění byla vyhovující i přes celkově nízký nastavený práh threshold. Nevyhovující zpoždění by bylo více jak 300 ms. Test zatížitelnosti vyšel jako nevyhovující. Bylo to způsobeno tím, že naměřené hodnoty u rámců o velikosti 128 b a 1280 b měly vysoké hodnoty a spadaly již do meze EIR, kde není garantovaná služba. Grafické vyhodnocení propustnosti je na obrázku (viz obr.: 38), zatížitelnost (viz obr.: 39), ztráta rámců (viz obr.: 40), a graf maximálního zpoždění je na obrázku (viz obr.: 41). Malé množství přijatých rámců je způsobeno nastavenými hodnotami Qos profilu, ve kterém měla největší rychlost dosahovat maximálně 1Mbps a garantovaná přenosová rychlost by měla být 64 Kbps s délkou burstu 64 Kb. Při měření propustnosti byla stanovena maximální rychlost 50 Kbps, stejně jako u testu ztráty rámců.

| RFC 2544 VoIP | | | | | | | |
|------------------------|------------|----------------------|-----------------|------------------|------------|--------------------|------------|
| Propustnost [rámece/s] | | Zatížitelnost [Mbps] | | Ztráta rámců [%] | | Max. zpoždění [ms] | |
| Velikost rámce | Rámců/s | Velikost rámce | rychlost [Mbps] | Velikost rámce | [%] | Velikost rámce | čas [ms] |
| 64 | 744 | 64 | 0.870 | 64 | 0 | 64 | 2.93632 |
| 128 | 422 | 128 | 1.046 | 128 | 0 | 128 | 0.34707 |
| 256 | 226 | 256 | 0.751 | 256 | 0 | 256 | 2.57582 |
| 512 | 117 | 512 | 0.657 | 512 | 0 | 512 | 2.22392 |
| 1024 | 60 | 1024 | 0.952 | 1024 | 0 | 1024 | 0.68359 |
| 1280 | 48 | 1280 | 1.008 | 1280 | 0 | 1280 | 4.207 |
| 1518 | 41 | 1518 | 0.645 | 1518 | 0 | 1518 | 2.08061 |
| Verdikt | vyhovující | Verdikt | Nevyhovující | Verdikt | vyhovující | Verdikt | vyhovující |

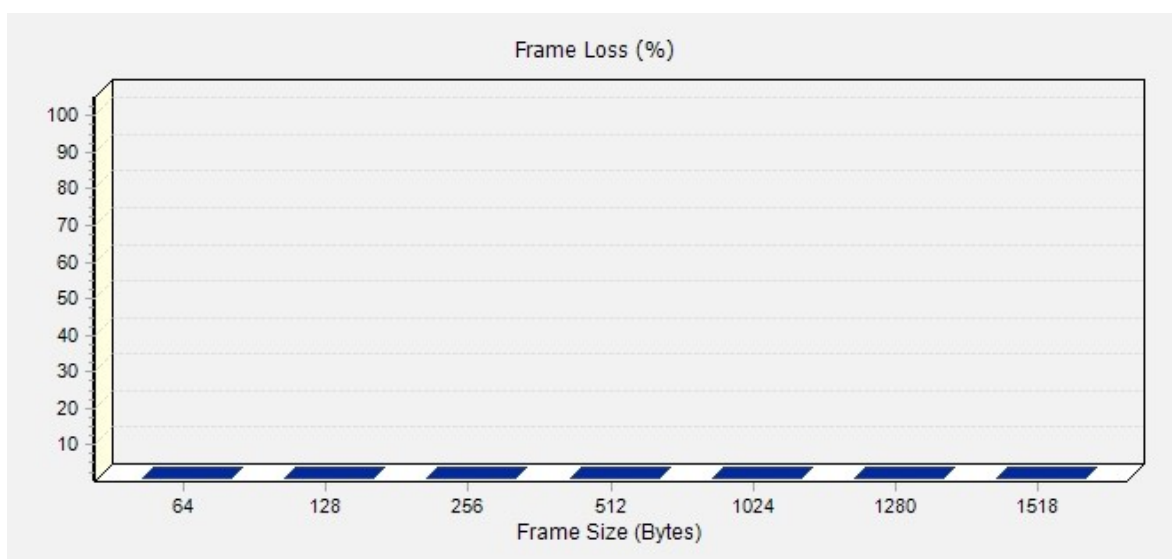
Tab.: 7 : Naměřené hodnoty RFC 2544 VoIP



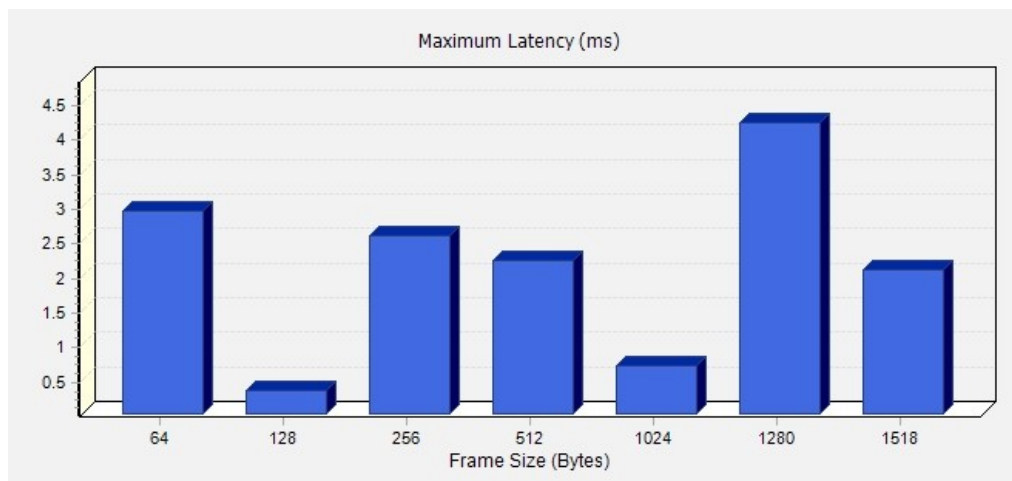
Obr.: 38 Propustnost VoIP



Obr.: 39 Zatížitelnost VoIP



Obr.: 40 Ztráta rámců VoIP

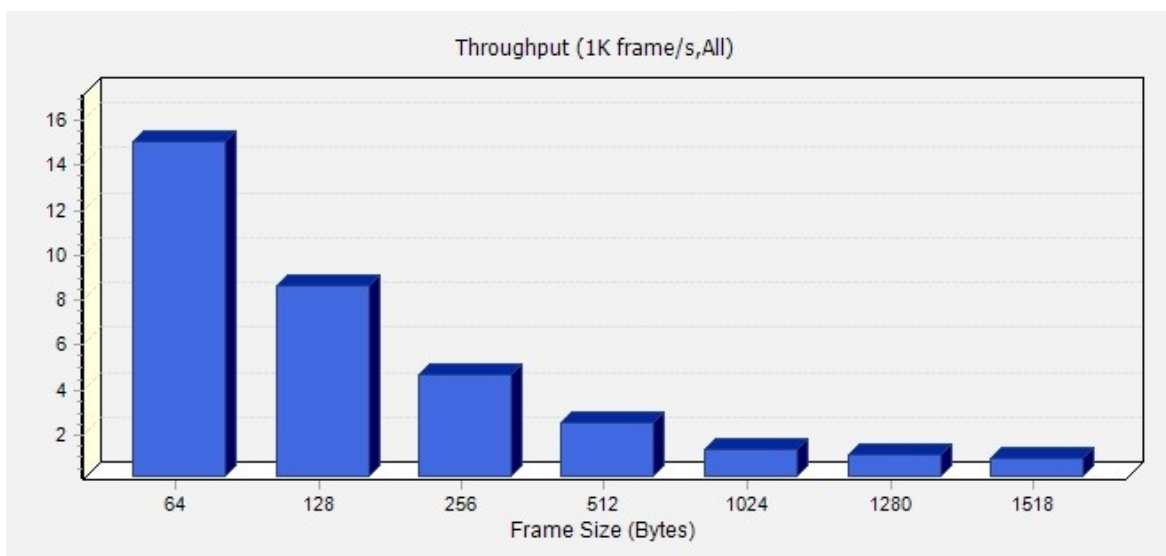


Obr.: 41 : Maximální zpoždění VoIP

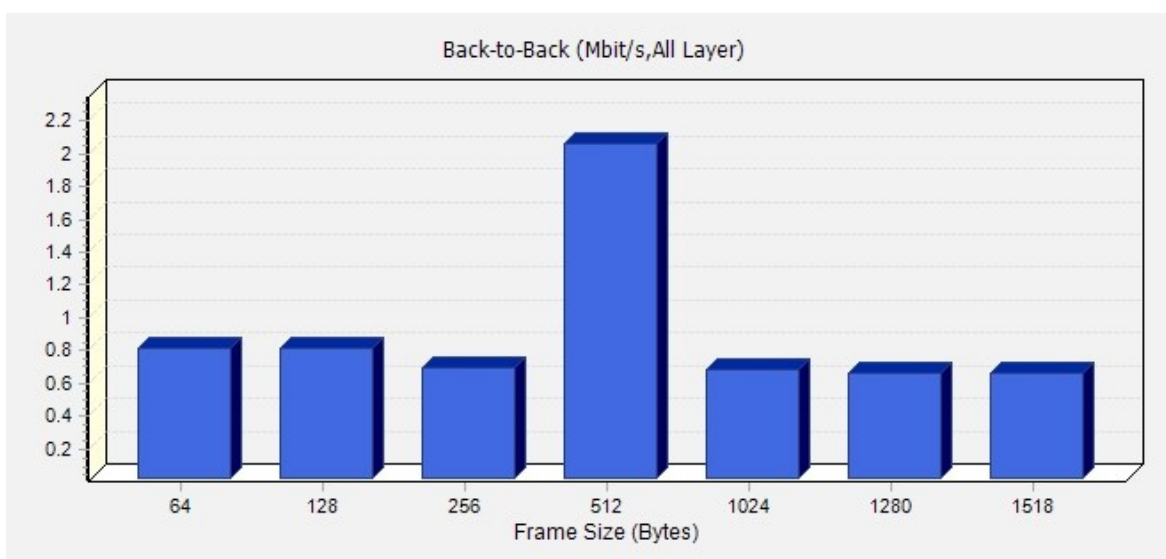
Při nastavení QoS parametrů optimalizovaného na přenos Video byl patrný větší provoz na trase. Na OLT byla nastavena maximální rychlost 10 Mbps a minimální garantovaná rychlost 4 Mbps s burstem 256 Kb. Na měřicím přístroji byla při testu propustnosti nastavena maximální rychlost a ztráty rámců na 10 Mbps. Ztráta rámců (viz obr.: 43), nebyla žádná a test propustnosti (viz obr.: 42), výsledným verdiktem prošel. Je vyhovující poskytovat při stávajícím nastavení kvalitní distribuci video služby, protože potřebné přenosové pásmo pro HDTV je v rozmezí 4 až 8 Mbps. Zpoždění (viz obr.: 45) na testované síti by nemělo vliv na kvalitu služby, protože je v přijatelných mezích i přes značný nárůst zpoždění při velikosti rámce 1518. Test zatížitelnosti (viz obr.: 43), neprošel konečným verdiktem a je vyhodnocený jako nevyhovující. Je to způsobeno tím, že při testování propustnosti s velikostí rámce 512 b byla překročena hodnota CIR a došlo k zahlcení sítě. V tabulce (viz tab.:8) jsou naměřené hodnoty se závěrečným verdiktem.

| RFC 2544 VIDEO | | | | | | | |
|------------------------|------------|----------------------|-----------------|------------------|------------|--------------------|------------|
| Propustnost [rámece/s] | | Zatížitelnost [Mbps] | | Ztráta rámců [%] | | Max. zpoždění [ms] | |
| Velikost rámce | Rámců/s | Velikost rámce | rychlost [Mbps] | Velikost rámce | [%] | Velikost rámce | čas [ms] |
| 64 | 14881 | 64 | 0,789 | 64 | 0 | 64 | 0,38848 |
| 128 | 8446 | 128 | 0,793 | 128 | 0 | 128 | 0,5071 |
| 256 | 4529 | 256 | 0,677 | 256 | 0 | 256 | 0,42397 |
| 512 | 2350 | 512 | 2,038 | 512 | 0 | 512 | 1,36744 |
| 1024 | 1197 | 1024 | 0,659 | 1024 | 0 | 1024 | 1,44496 |
| 1280 | 962 | 1280 | 0,644 | 1280 | 0 | 1280 | 1,26759 |
| 1518 | 813 | 1518 | 0,639 | 1518 | 0 | 1518 | 4,19594 |
| Verdikt | vyhovující | Verdikt | Nevyhovující | Verdikt | vyhovující | Verdikt | vyhovující |

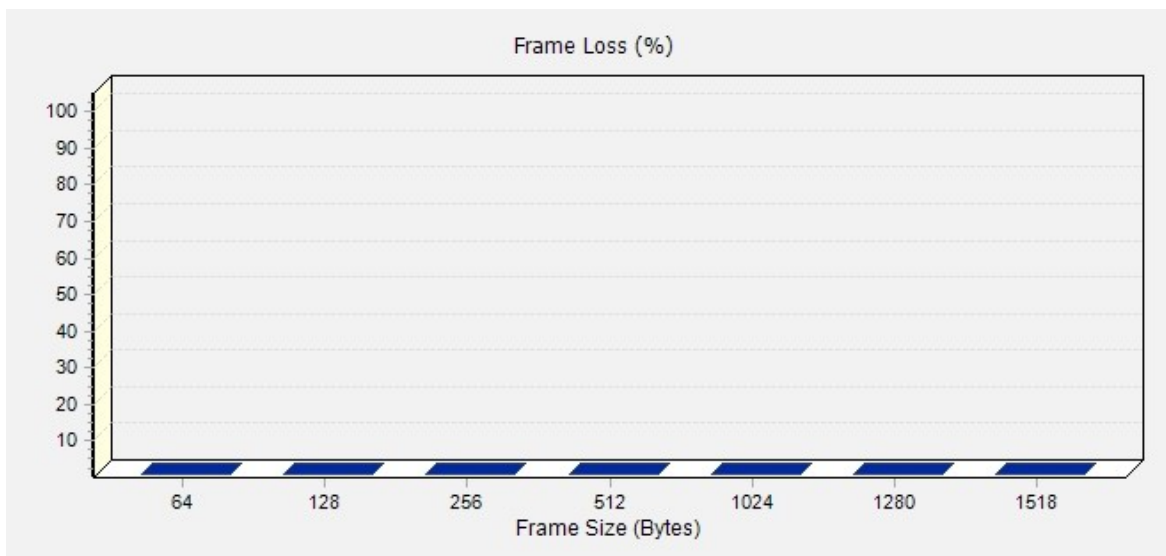
Tab.: 8 Naměřené hodnoty RFC 2544 VIDEO



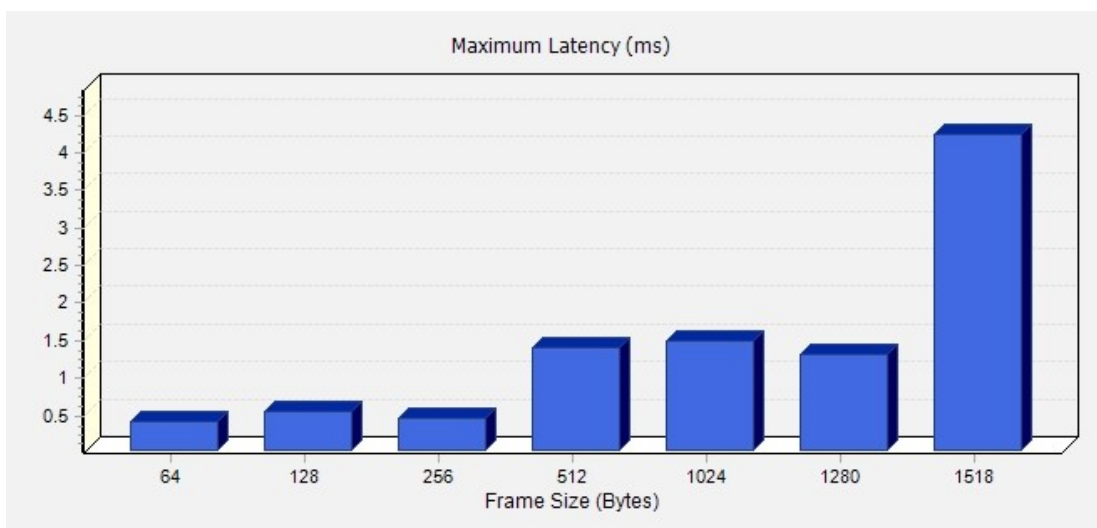
Obr.: 42 Propustnost VIDEO



Obr.: 43 Zatížitelnost VIDEO



Obr.: 44 Ztráta rámců VoIP



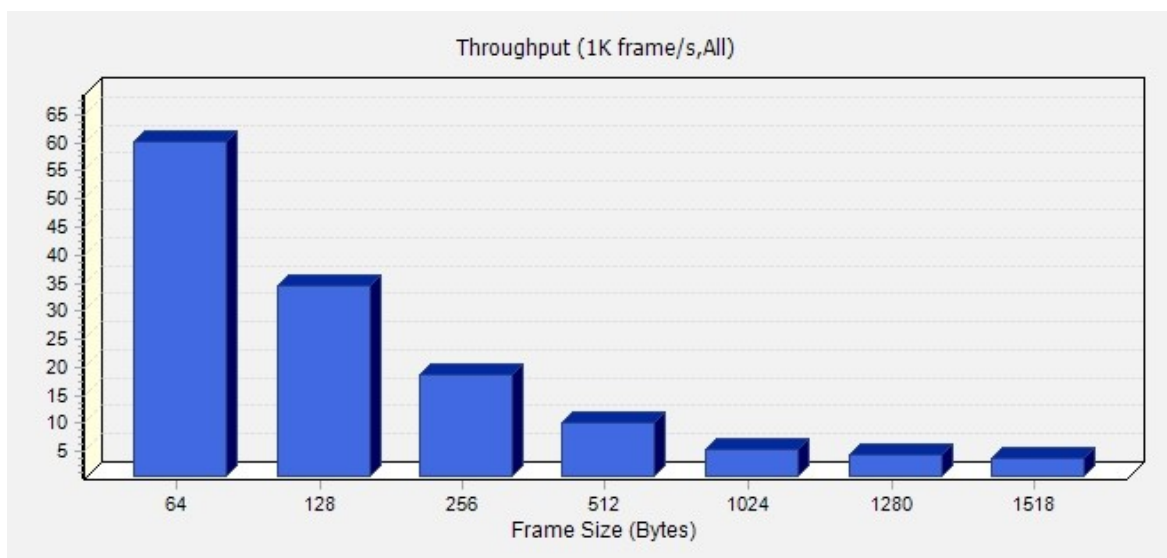
Obr.: 45 : Maximální zpoždění VIDEO

Poslední měření metodou RFC 2544 je test integrity GePON pro přenos dat. Nejvyšší přenosová rychlost na OLT je omezena na 40 Mbps a nejnižší garantovaná rychlost je nastavena na hodnotu 30 Mbps s burstem 256 Kb. Stejně jako v předchozím měření, tak i v této sérii testů je patrný nárůst provozu. Je to způsobeno tím, že je pro tuto službu vyhrazena větší přenosová kapacita traktu. Maximální rychlost a práh při testu propustnosti je stanovený na 40 Mbps a tento test v konečném verdiktu prošel jako vyhovující. Obrázek (viz obr.: 46), znázorňuje graficky vyhotovený výsledek naměřeného testu propustnosti. Při testu zatížitelnosti (viz obr.: 47) došlo k značnému zahlcení sítě při velikosti rámce 256 b. K zahlcení také došlo při velikostech rámců 1280 b a 1518 b. To znamená, že hodnoty překročily CIR, což je garantované pásmo a může dojít k

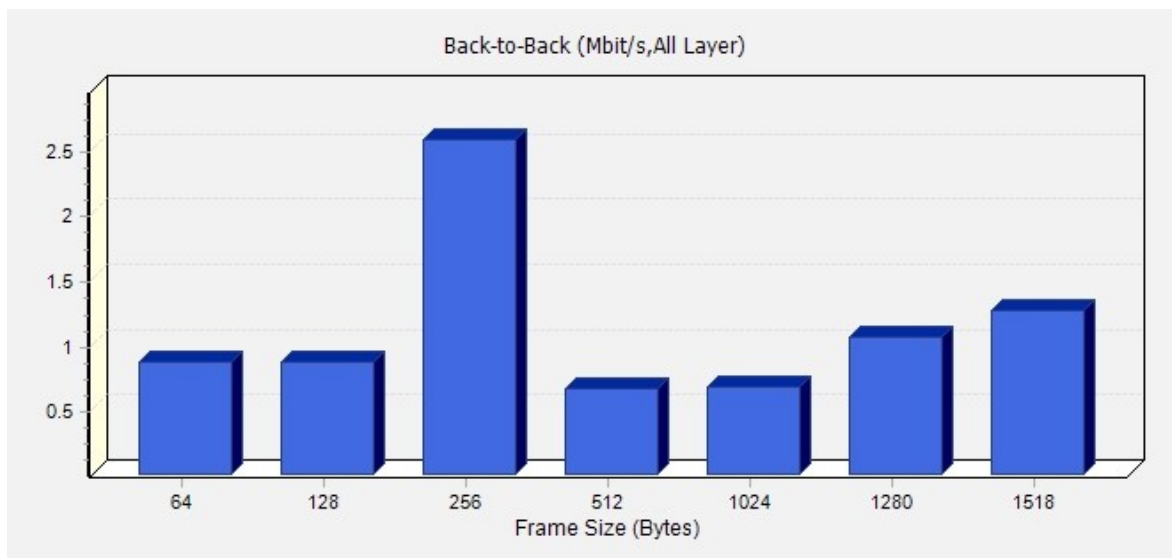
zahlcení sítě a výpadku služby. Ztráta rámců byla nulová, grafické vyhotovení výsledků je na obrázku (viz obr.: 48). Test maximálního zpoždění poukázal na značný nárůst při velikosti rámce 1518 b, který je markantní oproti ostatním testovaným velikostem rámců. Tento nárůst je patrný na Obrázku (viz obr.: 49). I přes toto zpoždění prošel test jako vyhovující, protože je v přijatelných mezích zpoždění. Výsledné hodnoty s konečným verdiktem jsou v tabulce (viz tab.: 9).

| RFC 2544 DATA | | | | | | | |
|------------------------|------------|----------------------|-----------------|------------------|------------|--------------------|------------|
| Propustnost [rámece/s] | | Zatížitelnost [Mbps] | | Ztráta rámců [%] | | Max. zpoždění [ms] | |
| Velikost rámce | Rámců/s | Velikost rámce | Rychlost [Mbps] | Velikost rámce | [%] | Velikost rámce | čas [ms] |
| 64 | 59524 | 64 | 0,863 | 64 | 0 | 64 | 0,42562 |
| 128 | 33784 | 128 | 0,854 | 128 | 0 | 128 | 0,40515 |
| 256 | 18116 | 256 | 2,563 | 256 | 0 | 256 | 0,4287 |
| 512 | 9398 | 512 | 0,661 | 512 | 0 | 512 | 0,50257 |
| 1024 | 4789 | 1024 | 0,672 | 1024 | 0 | 1024 | 0,45473 |
| 1280 | 3846 | 1280 | 1,050 | 1280 | 0 | 1280 | 0,49908 |
| 1518 | 3251 | 1518 | 1,248 | 1518 | 0 | 1518 | 3,83719 |
| Verdikt | vyhovující | Verdikt | Nevyhovující | Verdikt | vyhovující | Verdikt | vyhovující |

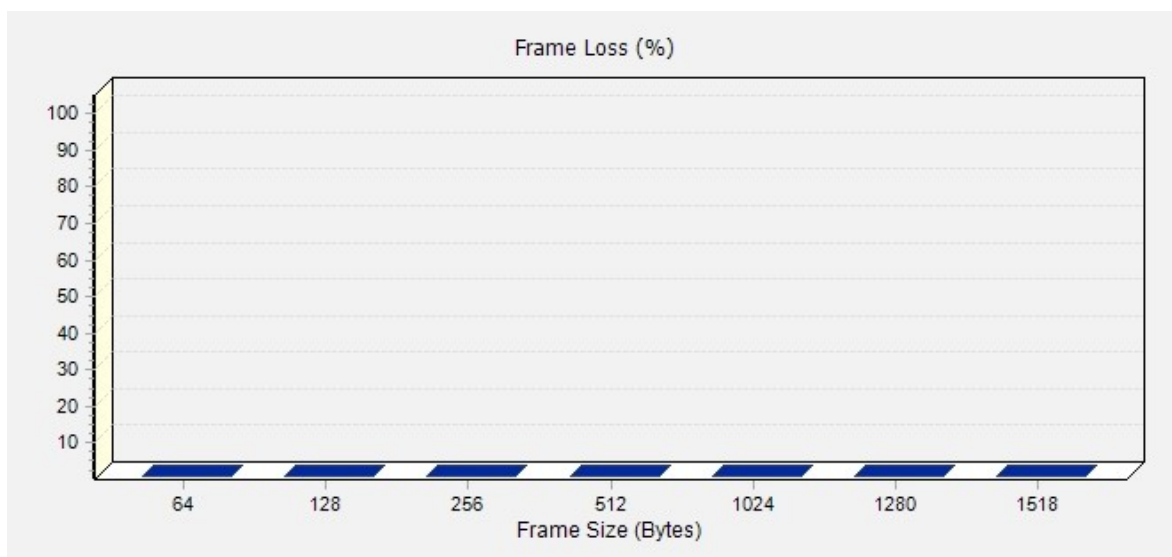
Tab. 9: Naměřené hodnoty RFC 2544 DATA



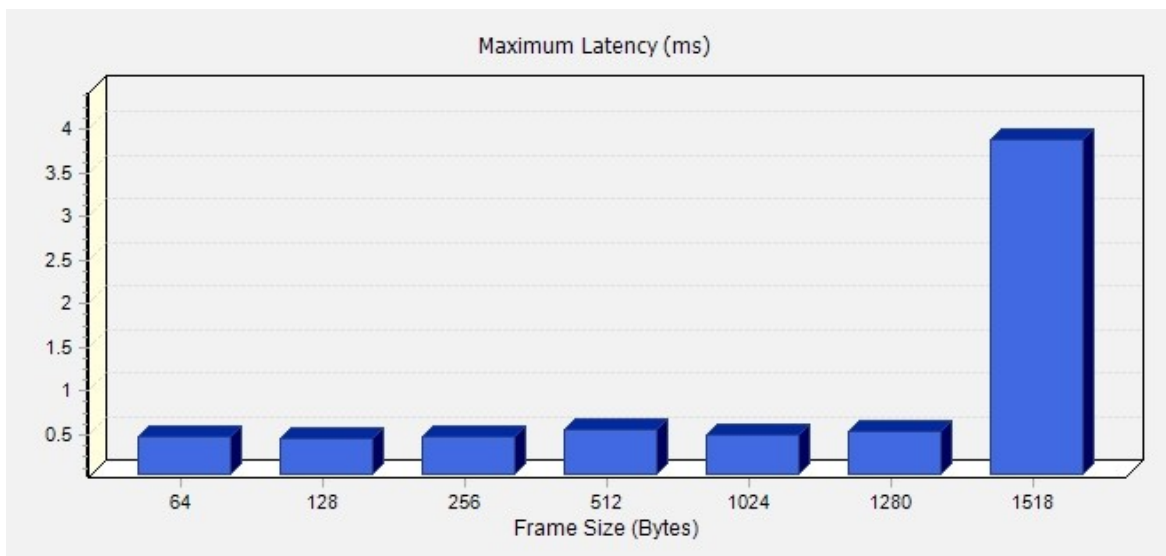
Obr.: 46 Propustnost DATA



Obr.: 47 Zatížitelnost DATA



Obr.: 48 Ztráta rámců DATA



Obr.: 49 Maximální zpoždění DATA

8.6.3 Závěr měření

Měření metodou RFC 2544 a metodou EtherSAM prokázalo, že testovaná síť je schopna integrity služeb triple play s dostatečnou přenosovou kapacitou pro bezchybný provoz.

Při měření EtherSAM nedošlo k žádnému chybovému hlášení a síť prokázala dostatečnou propustnost, zatížitelnost a zpoždění při nulové rámcové ztrátě. Výsledné hodnoty byly také ovlivněny zvolenou hodnotou EIR, která byla stejná jako maximální rychlost na měřeném traktu a nakonfigurovaným QoS profilem. Měření metodou EtherSAM také ukázalo přednosti této metody. Je rychlejší než RFC 2544 a umožňuje kompletní ověření všech SLA parametrů v jediném testu, aby zajistil optimální QoS. EtherSAM může simulovat všechny typy služeb, které poběží na síti, a současně kvalifikovat všechny klíčové parametry SLA pro každou z těchto služeb.

Naměřené hodnoty propustnosti a zpoždění u všech tří měření potvrdily, že síť a nakonfigurované QoS profily jsou schopny distribuovat služby triple play v dostatečné kvalitě. Zatížitelnost u všech tří testů byla vyhodnocena jako nevyhovující. Tuto skutečnost způsobil také vysoký práh threshold, který kladl na síť velké nároky a byl nastaven na 100 %. Metoda RFC 2544 se ukázala být značně zdoluhavá, protože každé měření trvalo minimálně 22 minut a každá ze služeb potřebovala vlastní konfiguraci OLT a měřicího přístroje.

9 Tvorba nové laboratorní úlohy pro měření Triple Play

Tato laboratorní úloha je vyhotovena ve formě protokolu a je součástí tištěné přílohy.

10 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala rozbořením pasivní optické sítě GePON, popisem, integrací a měřením souboru služeb nazvaných souhrnně triple play.

V první kapitole práce jsme se krátce seznámili s optickými pasivními sítěmi, jejich historií budoucností a rozdělením.

Pro integraci a správnou konfiguraci sítě je potřeba, abychom ji pochopili. Druhá část proto představovala a rozebírala síť založenou na modelu EPON. V této kapitole byl rozepsán použitý protokol na druhé neboli linkové vrstvě referenčního modelu OSI, a jeho modifikace na použití v sítích EPON. Byl zde popsán druh přístupu na optické médium, dávkování datagramů, jejich korekce, řízení signalizačních protokolů, komunikace s periferiemi, a v neposlední řadě i topologie PON sítí a jejich architektura dělení.

Další kapitola představila služby triple play. Jako první byla popsána služba VoIP. Jsou zde vysvětleny principy od přenosu hlasu až po určující faktory kvality telefonie. Následoval popis IPTV, kde jsou popsány výhody přenosu dat na IP orientovaných sítích, dále pak protokoly, které se využívají a druhy distribuce videa. V další části kapitoly jsme se detailně zaměřili na funkce přenosu dat přes FTP a jeho režimy.

Práce dále obsahovala popis kategorizace a řešení kvality služeb QoS. Řešení kvality služeb QoS bylo pro tuto stěžejní, protože od ní se odvíjí veškeré nastavení OLT a měřících přístrojů. Toto nastavení řídí a prioritizuje provoz v celé síti.

Velmi důležitou kapitolou byl popis metodik jednotlivých měření RFC 2544 a EtherSAM. Byly zde vysvětleny principy, kterými se jednotlivá měření provádí, a co prakticky testují.

Praktická část bakalářské práce se pak zabývala konfigurací OLT, aby byla schopna pojmout jednotlivé služby triple play. V této kapitole byla popsána konfigurace softwarové pobočkové ústředny Asterisk a její krátký popis, dále krok po kroku vyhotovený návod na konfiguraci VLC stream serveru od VideoLAN pro distribuci videa, popis vytvoření FTP serveru a grafické prostředí Gadmin ProFTPD.

V další části bylo popsáno pracoviště a praktické měření metodami RFC 2544 a EtherSAM a konfigurace OLT pro dané testy. Pro jednotlivé měřicí metody byly vyhotoveny obrazové návody s nastavením měřících přístrojů a byl zde popsán praktický průběh měření v jednotlivých bodech. Tato kapitola zahrnovala také vyhodnocení naměřených hodnot.

Poslední částí bakalářské práce je tvorba nové laboratorní úlohy. Tato laboratorní úloha byla zpracována ve formě protokolu, který obsahoval teoretický úvod s popisem GePON, měřicími technikami a popisem pracoviště. Úloha zahrnovala také návod na měření, zadání měření a vyhodnocení měření. Tento protokol najdeme v tištěné příloze.

Při měření bakalářské práce jsem se potýkal s mnoha problémy. Největší překážkou bylo, když student po tvrdém restartu při bootovací sekvenci vymazal firmware na řídicí kartě OLT a musel jsem tento firmware nahrát znovu. Jelikož škole vypršela expirační doba záruční lhůty, použil jsem starší verzi firmwaru, který není již aktuální. Myslím, že tato skutečnost byla důvodem občasného nesmyslného chování OLT, které někdy nereagovalo na příkazy, a musel být uplatněn restart systému.

11 Literatura a použité zdroje

- [1] Optické přístupové sítě. SCHLITTER, P. ACCESS SERVER. *Access server* [online]. Praha, 2004 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072807>
- [2] LAM, Cedric F. *Passive optical networks: principles and practice*. Boston: Elsevier/Academic Press, c2007, 324 s. ISBN 01-237-3853-9.
- [3] Pasivní optické sítě s rychlostí 10 Gbit/s. LAFATA, P. ACCESS SERVER. *Access server* [online]. Praha, 2011, 10. 03. 2011 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/rservice.php?akce=tisk&cisloclanku=2011030001>
- [4] LAFATA, Pavel a Jiří VODRÁŽKA. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. *Současné a budoucí varianty pasivních optických přístupových sítí*. Praha, 2009. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/file.php?id=200000336-43127440c6>
- [5] LAFATA, Pavel. Pasivní optická přístupová síť EPON. *Access Server* [online]. 23. 05. 2009, č.8, [cit. 2010-12-17]. Dostupný z WWW: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050003>.
- [6] LAFATA, Pavel . Pasivní optické sítě s rychlostí 10 Gbit/s. *Access Server* [online]. 10.3.2011, no, 9, [cit. 2011-04-01]. Dostupný z WWW: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticke-site-s-rychlosti-10-gbits&cisloclanku=2011030001>.
- [7] CESNET [online]. c2010 [cit. 2010-12-17]. VoIP - přenos hlasu. Dostupné z WWW: <http://www.cesnet.cz/iptelefonie/voip-principy.html>.
- [8] HENS, Francisco J a José Manuel CABALLERO. *Triple play: building the converged network for IP, VoIP and IPTV*. Hoboken, NJ: Wiley, c2008, 401 s. ISBN 978-0-470-75367-
- [9] Monitoring and Troubleshooting VoIP Networks with a Network Analyzer: MOS and R-Factor. TAMOSOFT. *TamoSoft* [online]. New Zealand, © 1998 - 2012 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: http://www.tamos.com/htmlhelp/voip-analysis/mosandr_factor.htm

- [10] VODRÁŽKA, J. Hodnocení kvality telefonního přenosu pomocí E-modelu. *Access Server* [online]. 2004, roč. 10 [cit. 2012-04-30]. ISSN 1214-9675. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2004100501>
- [11], [www.2160p.cz: HDTV přes internet](http://www.2160p.cz/hdtv-pres-internet/newsbcm_346317/10/). [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: [<http://www.2160p.cz/hdtv-pres-internet/newsbcm_346317/10/>](http://www.2160p.cz/hdtv-pres-internet/newsbcm_346317/10/).
- [12], [www.samuraj-cz.com: TCP/IP - skupinové vysílání IP Multicast a Cisco](http://www.samuraj-cz.com/clang/tcpip-skupinove-vysilani-ip-multicast-a-cisco). [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.samuraj-cz.com/clang/tcpip-skupinove-vysilani-ip-multicast-a-cisco>
- [13], SVOBODA, Radek. [Www.fi.muni.cz: Datové archívy - FTP a rsync](http://www.fi.muni.cz/~kas/p090/referaty/2007-podzim/ct/ftp-rsync.html). [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.fi.muni.cz/~kas/p090/referaty/2007-podzim/ct/ftp-rsync.html>
- [14], [www.deskshare.com: Understanding How FTP Works](http://www.deskshare.com/resources/articles/ftp-how-to.aspx). [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: [<http://www.deskshare.com/resources/articles/ftp-how-to.aspx>](http://www.deskshare.com/resources/articles/ftp-how-to.aspx)
- [15], [www.sciencedirect.com: A review of quality of service mechanisms in IP-based networks — integrated and differentiated services, multi-layer switching, MPLS and traffic engineering](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366401003346). HUNT, Ray. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: [<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366401003346>](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366401003346)
- [16], [www.samuraj-cz.com: Cisco QoS 1 - úvod do Quality of Service a DiffServ](http://www.samuraj-cz.com/clang/cisco-qos-1-uvod-do-quality-of-service-a-diffserv). BOUŠKA, Petr. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: [<http://www.samuraj-cz.com/clang/cisco-qos-1-uvod-do-quality-of-service-a-diffserv>](http://www.samuraj-cz.com/clang/cisco-qos-1-uvod-do-quality-of-service-a-diffserv)
- [17], POTROK, Peter. PROFIBER NETWORKING. *EtherSAM: jak jít po kvalitě služeb Triple Play*. 2011. Dostupné z: [<http://www.profiber.eu/files/B4_Hladky_Potrok_EtherSAM_jak_jit_po_kvalite_sluzeb_TriplePlay.pdf>](http://www.profiber.eu/files/B4_Hladky_Potrok_EtherSAM_jak_jit_po_kvalite_sluzeb_TriplePlay.pdf)
- [18], History. VIDEO LAN WIKI. *VideoLanwiki* [online]. 2011, 14 March 2011 [cit. 2012- 4-30]. Dostupné z: [<http://wiki.videolan.org/History#History>](http://wiki.videolan.org/History#History)

[19], Codec. VIDEO LAN WIKI. *VideoLanwiki* [online]. 2011, 14 March 2011 [cit. 2012- 4-30]. Dostupné z: <<http://wiki.videolan.org/Codec> >

[20], VOZŇÁK, Miroslav a Tomáš WIJA. CESNET. *Asterisk a jeho použití*. Praha, 2005. <<http://tldp.org/REF/VideoLAN-Quickstart/x536.html>>

[21], EXFO. EtherSAM: THE NEW STANDARD IN ETHERNET SERVICE TESTING. canada, 2011. Dostupné z: <<http://documents.exfo.com/appnotes/anote230-ang.pdf>>

[22], LAFATA, Pavel a Matěj ROHLÍK. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. *Konfigurace a testování triple play služeb v pasivní optické síti* [online]. Praha, 2011, 24.01.2011 [cit. 2012-05-03]. ISSN ISSN 1213-1539. Dostupné z: <<http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/komunikacni-technologie/30/konfigurace-a-testovani-triple-play-sluzeb-v-pasivni-opticke-siti/>>

[23], TOMEŠ, Martin. VŠB-TUO. *Měření v optoelektronice a optických komunikacích: Základní nastavení open-source SW komunikačního serveru Asterisk*. Ostrava, 2011.

[24], LÁTAL, Jan a Petr KOUDELKA. VŠB-TUO. *Měření v PON*. 12.4. 2011. Ostrava.

Seznam příloh

Příloha 1:

Tištěná příloha **Protokol na měření triple play v síti GePON**

Příloha 2:

Příloha na CD **RFC 2544 DATA obrázky** (složka s obrázky z měření)

Příloha 3:

Příloha na CD **RFC 2544 VIDEO obrázky** (složka s obrázky z měření)

Příloha 4:

Příloha na CD **RFC 2544 VoIP obrázky** (složka s obrázky z měření)

Příloha 5:

Příloha na CD **RFC 2544 DATA** (pdf soubor s naměřenými hodnotami)

Příloha 6:

Příloha na CD **RFC 2544 VIDEO** (pdf soubor s naměřenými hodnotami)

Příloha 7:

Příloha na CD **RFC 2544 VoIP** (pdf soubor s naměřenými hodnotami)

Příloha 8:

Příloha na CD **EtherSAM** (pdf soubor s naměřenými hodnotami)



Měření triple play na síti GePON

Datum: 4.5. 2012

Vypracoval: Tomáš Rainet RAI039

Teoretický úvod

Strategičtí zákazníci, velké korporace či obchodní centra, mohou být připojeni separátním optickým spojem nebo tvoří vyšší úroveň přístupu, například v metropolitní sítích. Tyto sítě můžeme dále vylepšovat a upravovat tím, že využijeme aktivních prvků, jako optických zesilovačů, digitálních přepínačů a SDH multiplexorů, či vlnově dělené DWDM systémy s transpondéry, DWDM multiplexory a optické propojovače (cross-connect). U těchto aktivních optických sítí AON se využívá topologie aktivní hvězda, kde jednotlivé optické trasy jsou ukončené v distribučním uzlu, či topologie jako SDH kruhová síť. Další možností je využití pasivních optických sítí PON.[1]

V optický přístupových sítích OAN se využívá síťové rozhraní mezi telekomunikačními službami a přístupovou sítí optické linkové zakončení OLT. Ukončující jednotky ONU slouží jako rozhraní mezi přístupovou sítí a koncovými zařízeními účastníků, kde může navazovat síťové zakončení NT. Mezi OLT a ONU, popř. ONT vede optická distribuční síť ODN (sváry, spojky, rozbočovače, optická vlákna).

Základní architektury optických sítí rozdělujeme podle toho, kde je umístěna ukončující jednotka ONU. Tyto architektury spadají pod termín „Fibre To The X“, přičemž X udává místo, kde leží ONU jednotka. FTTN (Fibre To The Node) znamená, že ONU je umístěna v uzlu vzdáleném až několik kilometrů od účastníka. Architektura FTTC (Fibre To The Cabinet) nám říká, že ONU je do vzdálenosti 300 m od uživatele. FTTB (Fibre To The Building) pak udává, kde je vlákno zakončeno v budově a kde signál je dále distribuován metalickým vedením. Další architektura FTTH (Fibre To The Home) značí, kde je optika přivedená až do domu. Jako poslední architektura se udává FTTP (Fibre To The Premises), která souhrnně obsahuje FTTH a FTTB. Většinou se tento termín využívá při situaci, kdy je z optického koncového uzlu rozvod metalického vedení přiváděn do obytných domů a menších firem.[2]

Jelikož je potřeba duplexního provozu v přístupové síti, je v OAN řešen buď simplexním dělením SDM (Space Division Multiplex), kde pro každý směr je využito jedno vlákno, nebo duplexní vlnové dělení WDM (Wave Division Multiplex), kde je využito jedno vlákno, po kterém je vstupný a sestupný směr oddělen rozdílnými vlnovými délkami. Jeden signál je v oblasti 1550 nm a druhý ve 1310 nm. Jako další možnost je duplexní frekvenční dělení FDM (Frequency Division Multiplex), kde zůstává jedna vlnová délka na jednom vláknu a provoz je oddělen frekvenčně. U optických sítí je pro tento multiplex zaveden název SCM (Sub Carrier Multiplexing). Často bývá v sestupném směru využíváno duplexní dělení časové TDM (Time Division Multiplexing). Tyto poslední dva způsoby, SCM a FDM, bývají nejčastěji využívány v sestupném směru, stejně jako jejich ekvivalenty TDMA (Time Division Multiple Access) a SCMA (Sub Carrier Multiple Access) přístupy ve vstupném směru.

Využívají se i kombinace těchto možností uspořádání multiplexování SCM/TDMA nebo TDM/SCMA.[1]

Historie a budoucnost OAN

V roce 1998 bylo standardizováno doporučení ITU-T G.983 mezinárodním telekomunikačním úřadem ITU formát APON (ATM PON). Bylo založeno na asynchronním transportním způsobu přenosu dat při použití buněk místo paketů, který byl schopný přenést 622,08 Mbps pro sestupný směr a 155,52 Mbit/s pro vzestupný směr. Nástupce tohoto formátu byl v roce 2001 sestaven standard ITU-T G.983 BPON, který rozšiřuje standart APON o vlnový multiplex a dynamickou alokaci pásma ve vzestupném směru. Další nadstavbou optických sítí se dle standardu ITU-T G.984 stal standard GPON, který byl schválen v roce 2003. Tento standard má lepší zabezpečení, má vyšší rychlosti (do 2488,32 Mbps) a podporuje datové zapouzdření do GEM rámců. V roce 2004 byl vydán standard IEEE 802.3ah, neboli GePON. Tato varianta je zatím nejvíce rozšířená a je často nasazována díky využívání Ethernet rámců na spojové vrstvě modelu OSI. V září 2009 byl představen další vývojový stupeň dle standardu IEEE 802.3av 10G-EPON, který zvyšuje přenosové rychlosti až na 10 Gbps a je zpětně kompatibilní s předchozí verzí GePON.

V roce 2009, a zejména 2010, se objevily první informace o nově specifikované pasivní optické síti dle ITU-T, která navazuje na původní variantu GPON a přináší v první řadě nárůst sdílené přenosové rychlosti ve směru sestupném až na 10 Gbps. V lednu 2010 byla vydána první pracovní verze nové série doporučení ITU-T G.987 10G-PON (XGigabit-PON). [3]

Jako další možnosti zvyšování přenosových rychlostí bude nasazení hybridních WDM PON sítí (WavelengthDivision Multiplex PassiveOpticalNetworks), které nebudou již nadále striktně pasivní sítě, protože budou použity zesilovače a opakovací pro dosažení větších vzdáleností. Tato technologie využívá oddělených vlnových délek, které jsou přenášeny po jednom vlákne, takže se celá kapacita přenosu násobí. Jsou dvě varianty, a to hrubé dělení CWDM, kde je pro standardní jednovláknové vlákno definováno 18 kanálů v pěti pásmech, a husté dělení DWDM (Dense WDM) má menší mezery mezi jednotlivými nosnými. Proto může přenést až 96 vlnových délek v jednom pásmu.[4]

Popis optické přístupové sítě GePON

GePON (Gigabit EthernetPassiveOptical Network), pasivní optická přístupová síť, patří do skupiny přístupových sítí PON (PassiveOptical Network) dle doporučení IEEE P802.3ah a blíže specifikovaná jako 1000BASE-PX20. Tato síť obsahuje pasivní přenosové optické prvky jako optická vlákna, konektory, svary, spojky, pasivní optické rozbočovače a filtry, optické linkové

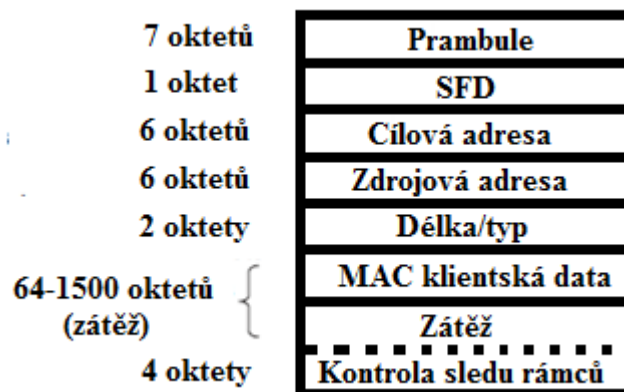
zakončení OLT, optické síťové jednotky ONU, popřípadě optické síťové zakončení ONT. GePON přenáší symetrické přenosové rychlosti v obou směrech 1,25 Gbps, což je rychlost na fyzické vrstvě. Umožňuje připojení menšího počtu koncových uživatelů, protože má nižší překlenutý útlum oproti GPON.[5]

Schéma přenosu v obou směrech je duplexní a využívá dvě různé vlnové délky pro oba směry přenosu. OLT v sestupném směru nepřetržitě vysílá časové multirámce se seřazenými příspěvky pro jednotlivé ONU, které jsou multiplexovány za použití TDM (Time Division Multiplex). Pomocí pasivních rozbočovačů se tyto multirámce doručí do všech ONU, kde se selektují a ONU propustí pouze části rámce, které právě náleží dané ONU. Každý multirámec nese označení definované posloupností, která usnadňuje rozpoznání počátku rámce a odvozuje bitovou synchronizaci. Multirámec obsahuje datové jednotky zapouzdřené ve formátu Ethernet rámců, které mají pozměněné záhlaví a obsahují zabezpečující pole.[5]

Rámec Ethernet

EPON přenáší data jako nativní Ethernetové rámce v sekci PON. Ethernetové rámce mají proměnnou délku. Standard Ethernetového rámce je znázorněn na obrázku (viz obr. 1). Začíná sedmioktetovou preambulí, dále pak oddělovačem start rámce (SFD), který označuje počátek rámce. Standard rámce EPON využívá preambuli, která je pozměněná, aby mohla nést LLID. Každý rámec nese cílové a zdrojové MAC adresy, které jsou v šestioktetovém poli. Dále je dvouoktetové pole, které značí délku a typ užitečné informace, která je obsažená v další vrstvě rámce. Tato hodnota užitečné informace může mít od 46 oktetů až do 1500 oktetů, což je maximální hodnota. Když je hodnota mezi 1536 a 65 535, tak reprezentuje Ethernet rámec. Použití tohoto pole představujícího délku a typ pole se proto vylučují. Po poli užitečné informace následuje čtyřoktetový rámec pro kontrolu rámcového sledu, ve kterém je použita cyklická redundantní sekvence CRC. [2]

Je vidět, že Ethernet rámce nesou minimální režii bitů k řízení přepravy a informace o protokolu. V Ethernetu jsou OAM informace a řízení řešeno pomocí protokolu datových jednotek PDU (Protocol Data Units), kde jsou standardní Ethernet rámce identifikovány pomocí pole délka/typ. protokol a OAM informace je nesena místo užitečné informace v PDU a OAM rámcích. Tyto rámce jsou multiplexovány do pásma s dalšími Ethernet rámcí, které nesou skutečnou užitečnou informaci, rozumějme jako data uživatelů. [2]



Obr.: 50 Standardní Ethernet rámec

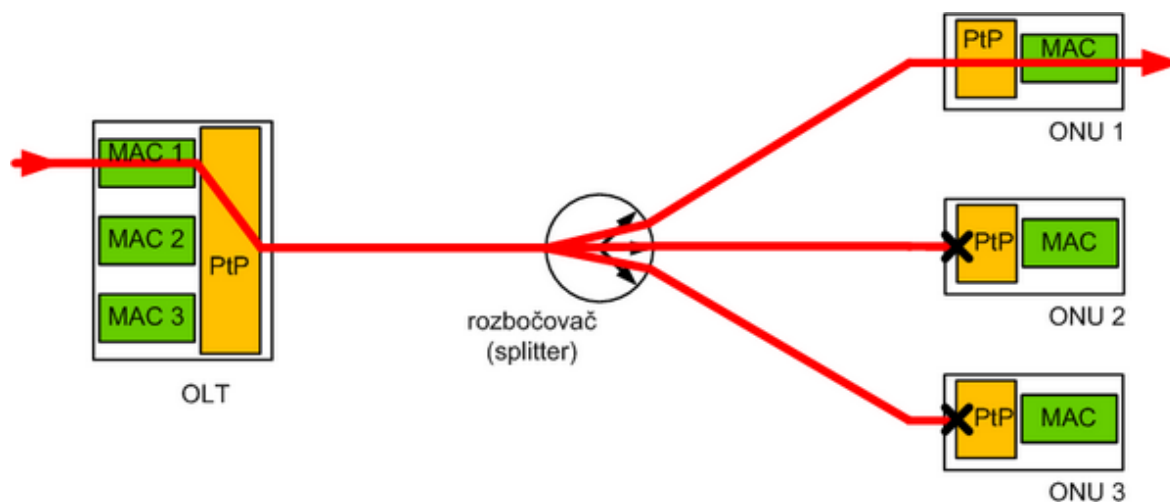
TimeDivision Duplex

V přístupu pomocí časového dělení jednotky OLT a ONU se používá ping-pong relace pro sestupný a vzestupný přenos. V jednotkách ONU a OLT je oddělený upstream a downstream optických signálů pomocí jednovláknových jednovlnových plných duplexních přístupů.

NEXT efekt zabráňuje kolizi, že odděluje horní a dolní signály v časové oblasti. A to za cenu snížení propustnosti sítě o 50 %. OLT koordinuje časové úseky přiřazením časového úseku sestupných a vzestupných přenosů. Na OLT a ONU musí být nastaven stejný burst. [2]

Topologie PON sítě

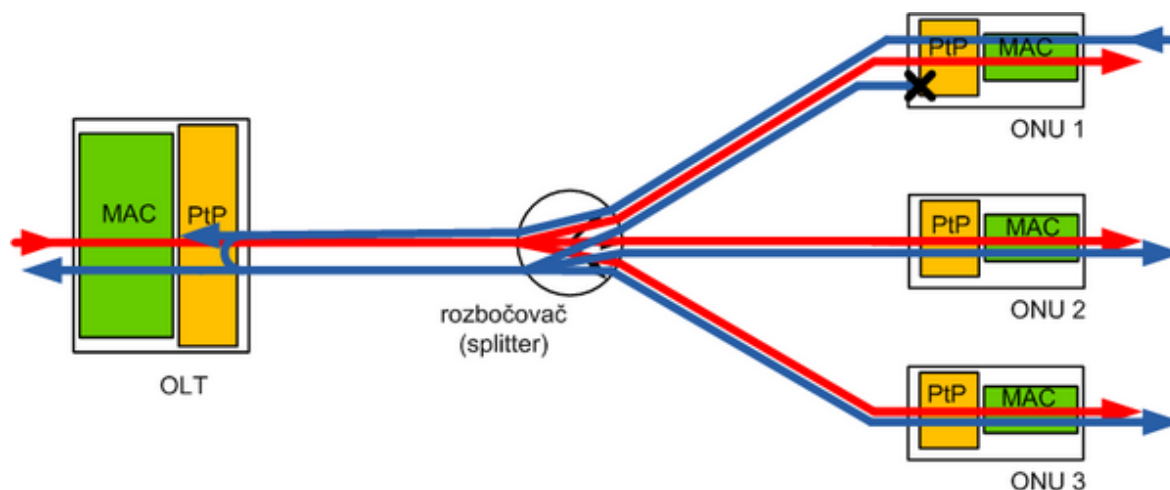
„Pasivní optická síť EPON podporuje celkem 3 schémata přenosu: bod-bod, bod-více bodů a současná kombinaci obou. V případě emulace typu bod-bod (viz obr.: 2) se struktura sítě navenek chová jako soubor vzájemně nezávislých bodových spojení. Tento způsob je umožněn implementací podvrstvy PtP před vrstvou MAC (Media Access Control) a označením koncových jednotek pomocí LLID. Do jednotky OLT je nutné v tomto případě integrovat N nezávislých MAC rozhraní, kde N označuje počet koncových jednotek ONU/ONT. V sestupném i vzestupném směru jsou všechny rámce označeny pomocí identifikátoru LLID, a ačkoliv jsou přeneseny všem koncovým jednotkám, pouze jednotka ONU/ONT s určeným identifikátorem LLID tento rámec přijme. Ostatní ONU/ONT jej automaticky zahazují. Tento způsob emulace je možné využít v obou směrech přenosu nezávisle na sobě, případně jej využít v přemostěném neboli bridge režimu, kdy spolu vzájemně komunikují dvě koncové jednotky ONU/ONT prostřednictvím jednotky OLT“. [5]



Obr.: 51 emulace typu bod-bod

„Druhý způsob představuje schéma bod-více bodů (viz obr.: 3), označovaný jako SME (Shared Medium Emulation). V tomto případě figuruje v jednotce OLT pouze jedno MAC rozhraní sdílené pro všechny koncové jednotky ONU/ONT. Komunikace probíhá pomocí vysílání typu broadcast (tedy obousměrné komunikace všech připojených jednotek). Za tímto účelem je vyhrazen specifický identifikátor LLID označující právě zmíněný všesměrový režim přenosu. Pouze ve vzestupném směru koncová jednotka ONU/ONT, která tento hromadný rámec vyslala, kontroluje, zda přijímaný rámec neobsahuje stejnou identifikační značku jako rámec vyslaný (zabránění příjmu vlastního odeslaného rámce)“.

[5]



Obr.: 52 Emulace bod-více bodů

„Posledním způsobem komunikace je kombinace obou předchozích. Toho je dosaženo rozšířením počtu MAC rozhraní v jednotce OLT na $N+1$, kde 1 rozhraní je vyhrazeno režimu

broadcast a zbylých N pak komunikaci PtP. Hromadné šíření je na jednu stranu výhodné pro služby jako například distribuce televizního vysílání (obecně videa), na druhou stranu při běžném provozu znamená poměrně vysoké zatížení sestupného kanálu nadbytečnými informacemi. Díky kombinaci obou předchozích způsobů může koncová jednotka ONU/ONT zvolit nejlepší způsob přenosu. V případě, kdy potřebuje určitá data adresovat pouze jedné koncové jednotce, zvolí typ PtP (s LLID požadované koncové jednotky). V případě adresování dat většímu počtu koncových jednotek využije broadcast a LLID k tomu určené“.[5]

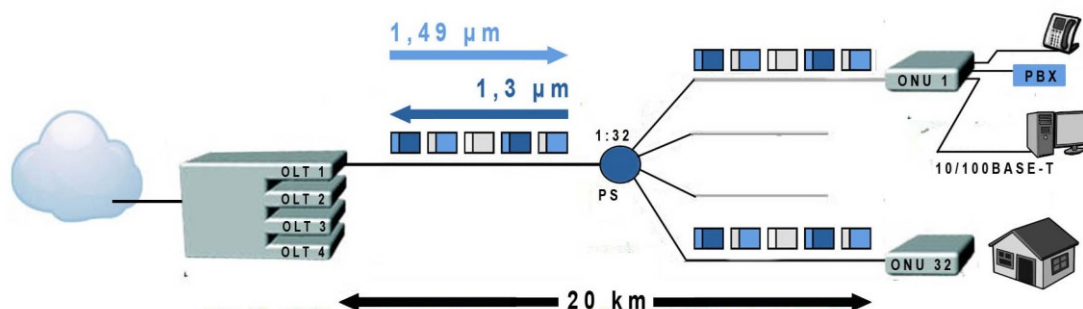
BURST režim

PON systémy vyžadují zvláštní Burst režim pro vysílání a přijímání. Jedná se o jednu z klíčových technologií pro přenos na vzestupném směru (od účastníka směrem k centrále). Je to nutné proto, že více účastníků sdílí stejné optické vlákno pomocí TDM. Klíčovým komponentem pro PON systém je Burst režim vysílače uvnitř ONU na straně účastníka a přijímače v OLT. Burst režimy přijímačů a vysílačů jsou obvykle realizovány pomocí integrovaných obvodů CMOS, které jsou nízkonákladové a nízkovýkonové. [2]

Standardní komerční využití TDM-PON struktury

Obrázek (viz obr.: 4) ukazuje architekturu standardní komerční TDM-PON struktury. Tato obecná architektura se vztahuje na APON, EPON a G-PON. OLT je připojen k zákazníkům přes splitter s poměrem 1:32. Maximální vzdálenost této struktury je 20 km. Přenos využívá pro vzestupný směr vlnovou délku 1490 nm a pro sestupný směr 1310 nm. Tato síť je připravena na nasazení služby tripple play, kde datové spojení je realizováno 10/100 BASE-T Ethernetovou přípojkou a hlasové připojení je T1/E1. Dále využívá porty pro komerční uživatele a obyčejné telefonní služby (POTS) pro domácí uživatele. Více OLT je možno přepojit na páteřních rozbočovačích nebo křížový přepojovač, který je připojen do páteřní sítě. Připojení mezi OLT a ONU je realizováno PON technologií. V závislosti na

použití PON technologie je použito rozdílného zapouzdření paketů do rámců (BPON, APON, G-PON, E-PON). Nejběžnější používané rozhraní je v dnešní době Ethernet. V sekci PON jsou signály z různých PON prokládány a rozesílány v řadě za sebou. Každý rámec je v záhlaví identifikován unikátním ONU ID. Směrové vlastnosti 1:N optických splitterů spojují downstream a point-to-point. Na druhou stranu vzestupný směr je multipoint-to-point. Rámce se odesílají ze všech ONU a jsou přijímány jednotkou OLT s tím, že dvě jednotky ONU si nemohou navzájem přímo odesílat a přijímat signály mezi sebou. To znamená, že celá komunikace mezi jednotkami ONU musí proběhnout přes OLT. [2]



Obr.: 53 TDM-PON struktura

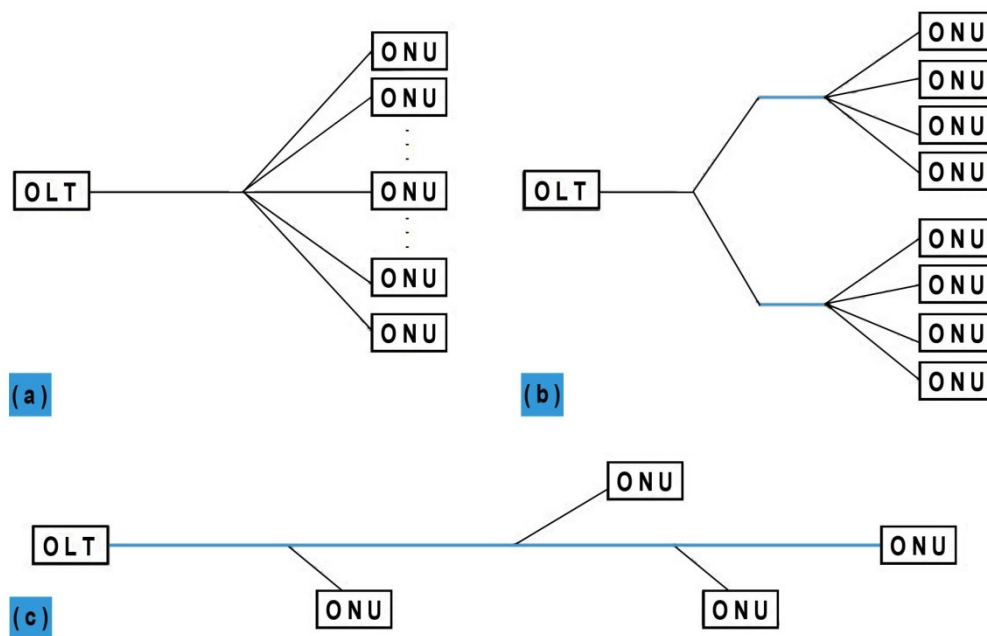
Poměr dělení

Většina komerčních systémů PON má dělicí poměr 1:16 nebo 1:32. Vyšší poměry dělení splitterů zatěžují více jednotky OLT a jsou větší přenosové ztráty. Ideální ztráta (splitting loss) při dělení je $A = 10 \log(N)$ [dB]. Pro vyšší poměr dělení je potřeba mít vysoko výkonové vysílače, vysoce citlivé přijímače a málo ztrátové optické komponenty. Vyšší poměr dělení znamená menší přenosový výkon a menší prostor vyhrazený pro jiné systémy, přičemž vznikají větší optické ztráty. Studie ukázaly, že ekonomicky optimální rozdělení poměru je kolem 1:40. Vysoký poměr dělení také znamená, že šířka pásma OLT je sdílena z více ONU a povede to ke zmenšení šířky pásma směrem k uživateli. Vysílací výkon je omezen dostupností laserových technologií s výstupním výkonem 0-10 dBm a bezpečnostními požadavky od regulačních orgánů. [2]

Architektura dělení

Účel dělení zahrnuje snížení přenosového pásma mezi OLT a ONU a redukuje kilometrůž vláken. Je možno použít jednostupňové dělení (viz obr.: 5a), víceetupňové dělení (viz obr.: 5b) nebo jako topologii bus (viz obr.: 5c). Skutečné rozdělení architektury závisí na demografii uživatelů a náklady na správu více rozbočovačů. Z manažerského hlediska je obvykle jednodušší mít jediný ovladač pro distribuci, který ji zjednodušuje, minimalizuje počet konektorů a snižuje ztráty. V architektuře bus nebo stromové architektuře mají všechny rozdělovače stejný vysílací výkon, proto nejvzdálenější ONU jednotka bude postižena nejvíce přenosovými a dělicími ztrátami a stane se úzkým hrdlem v systému. Nejvíce využívaný dělicí poměr

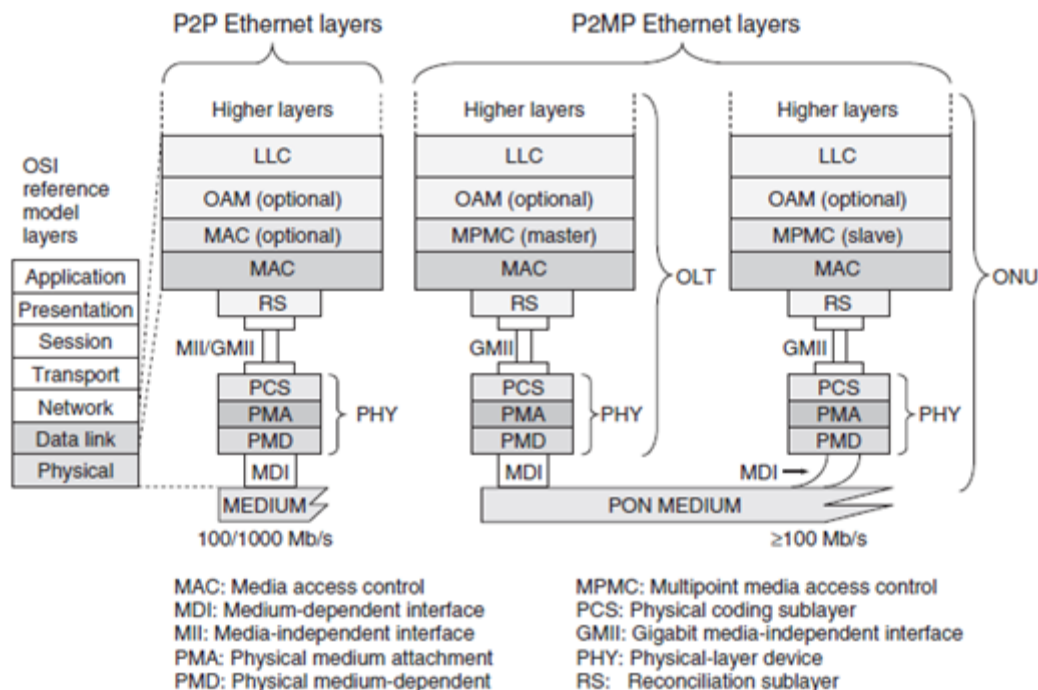
v systémech PON je 1:16 nebo 1:32. Nicméně dělicí poměr přímo ovlivňuje výkon a přenosové ztráty. Ideální dělicí ztráty na splitteru 1:N jsou $-10 \log(N)$ dB. [2]



Obr.: 54 Druhy topologií

Architektura Ethernetvrstvy EPON

Ethernet se vztahuje na fyzickou vrstvu a na spojovou (linkovou) vrstvu referenčního modelu OSI. Obrázek (viz obr.: 6) ukazuje porovnání vrstev PON v architektuře P2P a P2MP. Toto vrstvení je velmi podobné jako u tradičního P2P modelu Ethernetu. Standardní Ethernet rozděluje fyzickou a spojovou vrstvu do dalších podvrstev. Fyzická vrstva je připojena ke spojové lince pomocí media-independent interface (MII) nebo u gigabitového připojení gigabit media-independent interface (GMII). Volitelná MAC vrstva v Ethernet P2P emulaci je u sítě EPON nahrazena povinnou vrstvou Multi Point Media accessControl (MPMC). MPMC koordinuje přístup na sdílení přenosových cest PON mezi jednotkami ONU. Přestože OLT a ONU vrstvy vypadají téměř totožně, jednotky MPCP v OLT plní funkci master a jednotky MPCP v ONU jsou jako slave. To umožňuje EPON využívat P2P přemostňující protokoly založené na doporučení IEEE 802.1. [2]



Obr.: 55 Architektura Ethernet vrstvy v EPON

EPON PMD vrstva

Vrstva PMDP určuje fyzikální vlastnosti optických přijímačů. Ethernet byl tradičně využíván jako nízkonákladové řešení, které podporuje masové využití. Tato filozofie vedla k obrovskému komerčnímu využití a stoupající tendenci využívat Ethernet. Na rozdíl od GPON, kde je standardní dělicí poměr 1:32, standardy IEEE 802.3ah mají základní dělicí poměr 1:16. Je třeba si uvědomit, že podvrstvy mohou podpořit pouze 32,768 různých ONU skrze 15bitový logický identifikátor spojení LLID. Různé délky mezi ONU a OLT byly definovány v normách EPON, kde jsou určeny vlastnosti pro vzdálenost 10 km a 20 km. 1000BASE-PX10-D PMD a 1000BASE-PX10-U PMD definuje vlastnosti vysílačů OLT a ONU pro dosah 10 km. 1000BASE-PX-20-D a 1000BASE-PX20-U značí vlastnosti vysílačů OLT a ONU pro dosah 20 km, přičemž zdědily i vlnový alokační plán od ITU-G.983.3. Tyto vlastnosti pro 10 km a 20 km přenos jsou téměř totožné, většina změn je prováděna v OLT, kde se zdvojnásobila vzdálenost z 10 km na 20 km, což umožňuje ONU jednotkám lépe zvládat provoz na delší vzdálenosti. Tím i podporuje plošnější využití EPON a odpadá pořizování nových ONU při navýšení přenosové vzdálenosti.[2]

Burst režim a smyčky časování v EPON

Ethernet je založen na Burst protokolu. Nicméně moderní P2P Ethernet sítě využívají speciální vysílací a přijímací kanály mezi rozbočovačem a Ethernet pracovními stanicemi. Tento systém udržuje synchronizaci mezi vysílačem a přijímačem pomocí přenosu synchronizačních symbolů, které jsou odesílány, když je nevyužitá přenosová kapacita traktu. I přesto, že Ethernet protokol sám o sobě využívá burst, tak moderní P2P sítě už nadále nevyužívají burst v pravém slova smyslu. Ačkoli preamble se dochovala, v moderní Ethernet P2P síti nemá prakticky žádný význam, kromě zpětné kompatibility se staršími přístroji na bázi Ethernet.

Vzhledem k tomu že vzestupný směr EPON je typu burst, preamble jsou znovu potřeba, aby pomohla synchronizovat burst mezi OLT a jednotkami ONU. Kromě toho jsou preamble v P2P EPON sítích upraveny pro nesení LLID. Tradičně všechny Ethernet vysílače pracují asynchronně na jejich místních časových doménách. Není tu žádná globální synchronizace. Přijímač odvodí hodinový signál z přijatých synchronizačních symbolů. Nesoulady mezi zdroji clock signálu se zachycují mezi rámci v Interframe Gap (IFG). V systému EPON sestupné fyzické spojení udržuje spojitý signál a synchronizaci hodin. Ve vzestupném směru pro udržení časové synchronizace mezi OLT a ONU se využívá časová smyčka pro vzestupný burst. To znamená, že hodinový signál je odvozen z přijímaného sestupného směru.[2]

Zpětná bitová korekce FEC (Forward Error Correction)

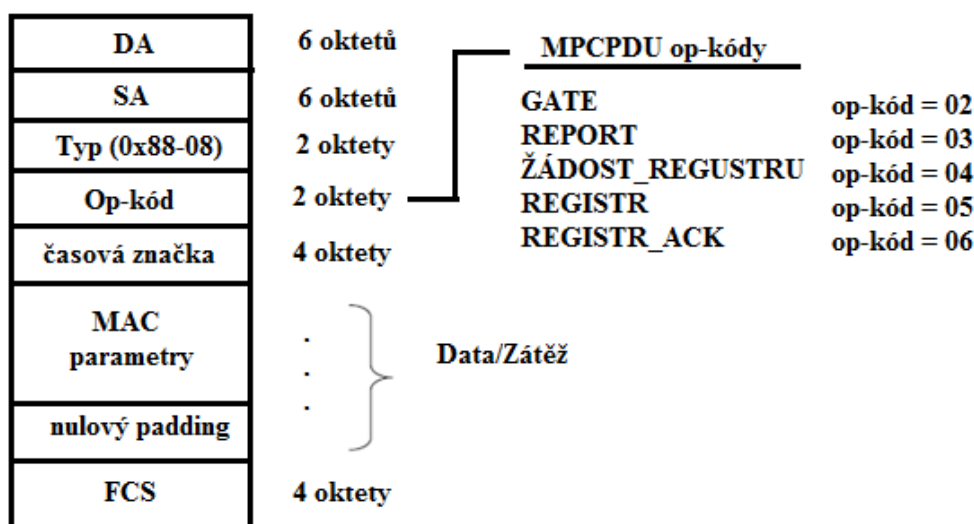
Použití FEC je volitelné v EPON. IEEE 802.3ah standard definuje RS (255, 239) blokové kódy PCS ve vrstvě EPON. Jedná se o stejný kód jako je použit v GPON. Paritní bity jsou připojeny na konci každého rámce. Při použití FEC se nemění rychlost časování synchronizace, ale klesá propustnost dat. To umožňuje, že ONU, které nepodporují FEC, jsou schopny spolupracovat s ONU a FEC používají. Jednotky ONU, které nepodporují FEC, budou jednoduše ignorovat paritní bity, i když se zvýší BER. [2]

Multipoint Control Protocol (MPCP)

Protokol MPCP byl vyvinut pro služební komunikaci, řízení a správu. V podvrstvě se využívá protokol MPCPDU (Multipoint Control Protocol Data Units), který vykonává funkce, které mají za úkol objevovat a přiřazovat nové ONU jednotky, a dále dynamicky přiděluje přenosové kapacity v multirámcí ve vzestupném směru.[2]

MultipointControlProtocol Data Unit (MPCPDU)

MPCPDU (viz obr.: 7) jsou 64 bitů dlouhé MAC rámce bez značkování VLANů. Obecný formát MPCPDU je charakterizován MAC rámcem typu 0x88-08 v poli délka/typ v Ethernet rámci. Dvouoktetové pole identifikuje typ MPCPDU zprávy a op-kočky pro všechny typy MPCPDU definované v EPON. Každá MPCPDU zpráva také obsahuje čtyřoktetové pole pro časové razítko, takže je možné ONU a OLT vzájemně korigovat pro načasování provozu. Část data/pad obsahuje MAC parametry v MPCPDU nutné k doplňování rámců nulami pro udržení 64bitové velikosti pole. [2]

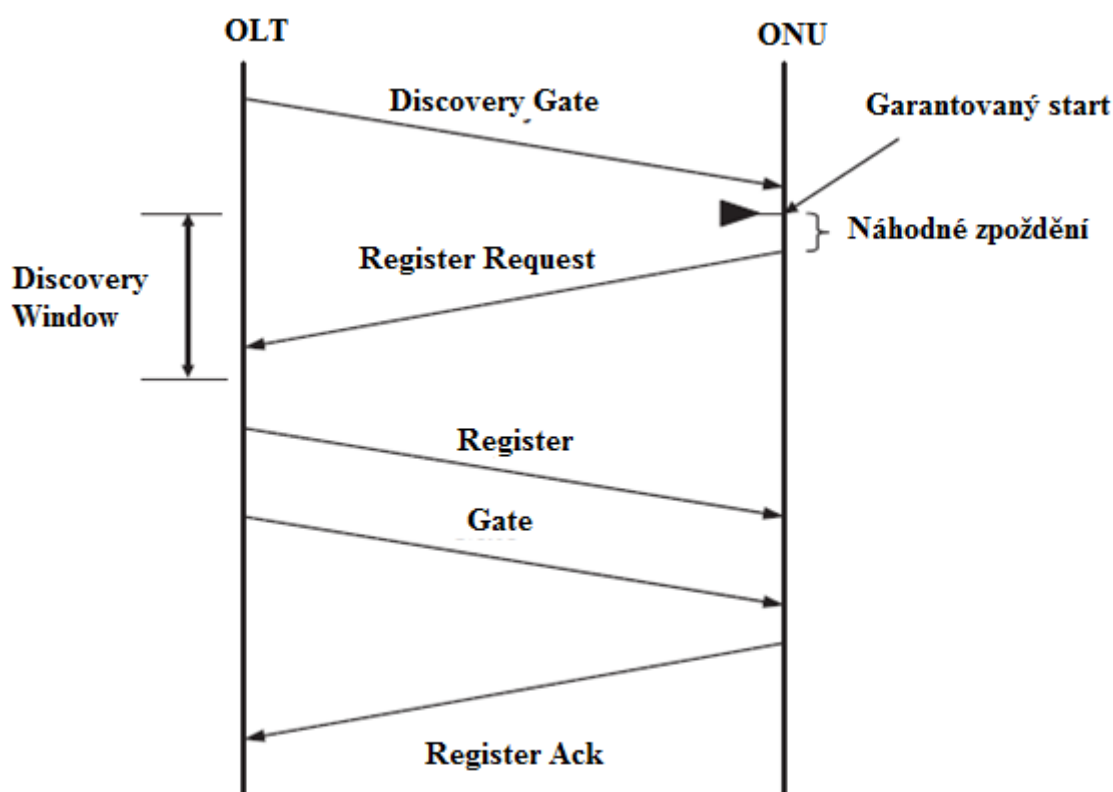


Obr.: 56 Jednotka MPCPDU

Autodiscovery proces v EPON a ONU

Autodiscovery proces umožňuje v EPON připojit ONU jednotky hned po zapnutí. OLT přidělí virtuální MAC adresu a přiřadí LLID pro P2P emulaci. Během Autodiscovery procesu dojde synchronizaci času a burst módu. Synchronizace času je čas potřebný OLT po obdržení burstu, aby si z vysílače ONU nastavil hodiny a upravil své rozhodnutí v přijatých třináctivýkonnostních úrovních z různých ONU. Pro provedení Autodiscovery procesu musí OLT periodicky vysílat rámce DiscoveryGate. Jak je ukázáno na obrázku (viz obr.: 8), je vyhrazen čas poskytnutý DiscoveryGate, který se nazývá DiscoveryWindow. OLT také předává ONU své hodnoty synchronizačního Burst módu ve zprávě Discovery GATE, takže každé ONU zná formát vzestupných signálů se symboly pro

nečinnost během počáteční synchronizace Burstů. ONU zaregistruje DiscoveryGate a posílá požadavek RegisterRequest, poté čeká na náhodné zpoždění. OLT přijme poptávku po zaregistrování RegisterRequest a přidělí ONU jeho LLID. OLT pak odešle další zprávu Gate pro poskytnutí místa ve vzestupném směru pro ONU s nově nabytým LLID a dále odešle RegisterAcknowledgment rámec, který značí konec registračního procesu nové ONU jednotky. Může se stát, že se připojí několik nových ONU jednotek, a ty by poté mohli kolidovat. Tento stav je ošetřen tím, že je v ONU generováno náhodné zpoždění před vysláním Register požadavku, a tím se zabrání kolizi na OLT. Proto může OLT přijmout více požadavků v DiscoveryWindow a nenastane kolize.[2]



Obr.: 57 Autodiscovery proces

Kvalita služeb QoS

Vzhledem k velkému rozšíření telekomunikačních služeb, které jsou závislé na kvalitě spojení a malé ztrátovosti, bylo potřeba zajistit určitou kvalitu služeb, proto tedy QoS, neboli Quality of Service. Tento soubor protokolů, aplikací a funkcí síťových prvků zajišťuje hladký chod služeb a dodání potřebného paketu nejlépe a nejrychleji jak je možné. Ať už se jedná o IP telefonii, streamovaná videa, videokonference, distribuované výpočty, nebo přenos velkých objemů dat. QoS neboli kvalitu služeb,

charakterizují parametry jako šířka pásma (bandwidth), ztrátovost paketů (dropped packet), zpoždění (delay) a rozptyl zpoždění (jitter)

Teoretický úvod do služby Triple Play

Komunikační standardy se již delší dobu snaží o sítě s integrovanými službami, které umožňují přenášet data, hlas a video. Každá z aplikací má rozdílné požadavky na šířku pásma a kvalitu spojení. Přenos dat oproti přenosu hlasu a videa není náročný na spolehlivost přenosu a délku zpoždění. Datové sítě jsou konstruovány tak, aby byla využita maximální šířka pásma. V telefonních sítích je zaručena doba doručení, protože si hovor rezervuje pásmo neohledně na další síťový provoz. Tím je neefektivně využitě pásmo. Stejně jako přenos hlasu, tak i přenos videa je náročný na kvalitu spojení, proto je také pásmo nevyužito efektivně.[6]

Metoda měření RFC 2544

Je metoda zvaná Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices, která byla vydána v roce 1999 a nahrazuje předešlé verze metod testování integrity sítě. Tento dokument je šablona pro prezentaci a popis výkonnostních testů síťových zařízení. Tyto testy by měly být prováděny několikrát, avšak minimálně pětkrát s rozdílnými velikostmi rámců. RFC 2544 obsahuje test propustnosti (Throughput), zatížitelnosti (Back to back), ztrátovosti (Packetloss) a zpoždění (latency).

Test propustnosti

V testu propustnosti se sledují vyslané rámce. Pokud se počet rámců přijatých shoduje s počtem odeslaných rámců, tak musíme zvýšit přenosovou rychlost a opakovat test. Jestliže vznikne ztráta rámců, musíme danou přenosovou rychlost snížit a znovu opakovat test. Výsledky testu by měly být prezentovány v grafu, který nese na ose x délky vyslaných datagramů a na ose y rámce za sekundu.

Ztrátovost

Je procentuální vyjádření ztráty počtu rámců, které z důvodu nedostatečné přenosové kapacity či jiných vlivů nedorazily do své destinace.

Zatížitelnost

Testuje se tak, že se odešle přes síť maximální rychlostí největší možný počet rámců, který má mít minimální délku 2 sekundy, a nesmí nastat žádná ztráta rámců.

Z tohoto postupu dostaneme parametr EIR, který nám vyjadřuje, jaká je maximální zatížitelnost sítě bez toho, aniž by došlo k přehlcení sítě. Parametr CIR, na rozdíl od EIR, odkazuje na šířku pásma, která je zaručena a vždy k dispozici na konkrétní službu.

Zpoždění

Je metoda založená na principu uložit a přeposlat, ve které se zpoždění vyjadřuje jako doba, mezi kterou byl obdržen poslední bit prvního rámce, a přijetím prvního bitu posledního odeslaného rámce.

Metoda měření pomocí ITU-T Y.1564 EtherSAM

ITU-T Y.1564 neboli EtherSAM (Ethernet Service Activation test Methodology) je nový návrh doporučení dle ITU-T pro testování metodologie multiservisních paketově založených sítí. Vlastní měření má dvě fáze. Jsou zde zavedeny ukazatele CIR a EIR, a to:

CIR (Committed Information Rate) neboli informace zavazující rychlost. Odkazuje na šířku pásma, která je zaručena a je vždy k dispozici na konkrétní službu.

EIR (Excess Information Rate) je poměr nadbytku informací. Jedná se o nadměrné šířky pásma nad CIR, které mohou být k dispozici v závislosti provozu na síti.[8]

Fáze 1 – Ověření konfigurace sítě

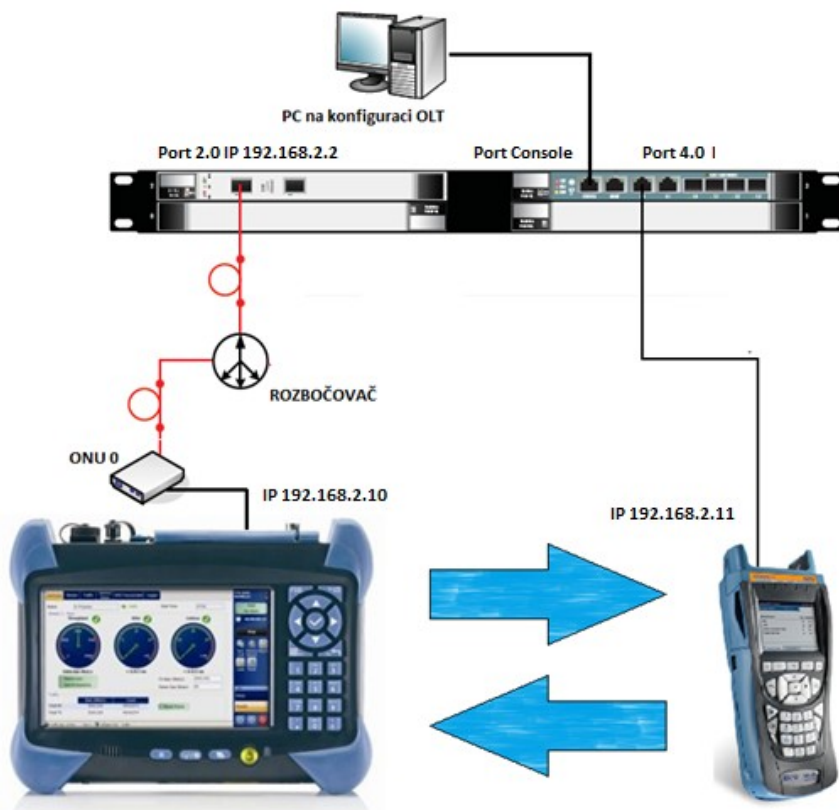
Pro každou službu se sekvenčně generuje rychlostní rampa. První pro CIR, druhá pro EIR a třetí EIR. V této fázi se ověří, jestli je CIR a EIR správně nakonfigurované a zkontroluje všechny SLA parametry v každém kroku rampy, přičemž průměrný čas je kolem jedné minuty.[17]

Fáze 2 - Test Služeb

Všechny služby se generují simultánně při CIR a ve stejné chvíli se sledují všechny parametry jako propustnost, zpoždění, start rámců a kolísání. Pro každý parametr se v obou směrech testuje vyhovuje/nevyhovuje práh Threshold, což je stav, kdy je ještě dostupná služba. V tomto testu jsou všechny nakonfigurované služby vytvořené ve stejnou dobu a na stejném CIR pro období, které se může pohybovat od několika minut až po několik dnů. Během tohoto období je výkon služeb jednotlivě sledován. Pokud některá služba nesplní své výkonové parametry, je verdikt vyhlášen jako nevyhovující.[7]

Popis pracoviště

Použitá topologie je jednostupňové dělení s dělicím poměrem 1:16-ti. Na OLT portu 4.0 je umístěn měřicí přístroj EXFO ASX 200/850, který je nastavený jako LoopBack jednotka. V tomto módu přijímá datové rámce, kterým ihned změní cílovou adresu a odešle je zpět k měřicímu přístroji EXFO FTB-1/860.



Seznámení s komponenty a měřicími přístroji

Nejprve se je třeba se seznámit s komponenty v racku, jednotkou ONU a použitými měřicími přístroji. Je zde umístěna jednotka OLT obr(), kde je znázorněn port 2.0 na kartě EPON2, který je stěžejní, protože přes něj probíhá veškerá komunikace. Přes metalický CONSOLE port probíhá komunikace a konfigurace OLT. Na metalickém PORTu 4.0 se připojuje měřicí přístroj EXFO AXS 200/850, který je v režimu Smart Loop.



Obr.: 58MiniMAP 9102

Jako další komponenta je zde umístěn pasivní optický rozbočovač s dělicím poměrem 1:16. Na tomto rozbočovači jsou v levé části výstupní porty, ve střední části jsou neobsazené porty a v levé části je vstupní port. Všechny porty jsou SC s plochým zakončením PC.



Obr.: 59 Rozbočovač

V racu jsou také vyvedeny optické trasy z jednotlivých stanovišť v učebně. Je jich celkem 5, přičemž každé jedno pracoviště má 4 konektory, dvě se zakončením PC a dvě se zakončením APC.



Obr.: 60 Vyvedení pracovišť v racku

Jednotka ONU je Mediakonvertor AT-ON1000. Tato jednotka je navržena na propustnost 1Gbps v obou směrech provozu a konvertuje optické signály na signály přenášené přes metalické vedení. Je znázorněna na obrázku.



Obr.: 61 Mediakonvertor AT-ON1000

Měřicí přístroj EXFO ASX 200/850 je znázorněn na obrázku (viz obr.: 23). Tento přístroj má sadu funkcí, které zahrnují obousměrné testování dle doporučení RFC 2544, monitorování provozu, multistreamové pozadí provozu, BERT, IP konektivitu, ping a tracerout. Tento měřicí přístroj má dále implementovány funkce pro testování metalických kabelů, testování QoS přes VLANy v

metropolitních sítích. Pro toto měření je nejdůležitější funkce Smart Loop, která z EXFO ASX 200/850 udělá LoopBack jednotku, která bude přijímat a následně přeposílat data zpět do ODN.



Obr.: 62 Měřicí přístroj EXFO ASX 200/850

Měřicí přístroj AXFO FTB-1/860 NetBlazer (viz obr.: 23) ověřuje Ethernet služby a plně podporuje měření EtherSAM, RFC 2544, BERT a mnoho dalších testovacích aplikací. Má dva Ethernet porty a dva optické porty.



Obr.: 63 Měřicí přístroj AXFO FTB-1/860 NetBlazer

Konfigurace OLT

Na konfiguračním PC použijeme Hyper Terminál nebo jiný Telnet manager. Je potřeba nastavit parametry komunikace. Rychlost 9600 bit/s, datové bity 8, parita žádná a řízení žádné.

Nyní je připraveno dialogové okno pro správu OLT, kde je potřeba vyplnit přihlašovací údaje:

Jméno: *officer*

Heslo: *officer*

Po přihlášení na OLT je možné nastavit parametry pro správu přenosu.

Nastavte IP adresu 192.168.2.1 pro rozhraní modulu EPON příkazem:

SET INTERFACE=2.0 EPON IPADDRESS=192.168.2.1

Vytvoření a přiřazení ONU jednotky na OLT:

CREATE ONU=ONU0 ONUID=0 INTERFACE=2.0 MAC=<mac adresa jednotky> TYPE=TK3713

Správné vytvoření jednotek ověřte příkazem:

SHOW ONU 2.0.0

Vytvoření VLAN:

CREATE VLAN=TEST VID=100

Přiřazení vlan na rozhraní ONU jednotky:

ADD VLAN 100 INT [2.0.0],[4.0] FRAME UNTAGGED

Vytvoření QoS profilu na měření EtherSAM (viz obr.: 25):

CREATE QOSPOLICY=test MAXUPSTREAMRATE=800M DOWNSTREAMRATE=800M

MINUPSTREAMRATE=800M MINDOWNSTREAMRATE=800M UPBURSTSIZE=256K

DOWNBURSTSIZE=256K DOWNPRIORITYBURSTSIZE=256K

UPDELAYSENSITIVITY=tolerant DOWNDelaySensitivity=tolerant


```
officer SEC>> sh qospolicy test

--- Qos Policy Data ---

Name..... test
Id..... 117
Description..... <none>
Max Upstream Rate..... 800Mbps
Max Downstream Rate..... 800Mbps
Min Upstream Rate..... 800Mbps
Min Downstream Rate..... 800Mbps
Upstream Burst Size..... 256K
Downstream Burst Size..... 256K
Downstream Priority Burst Size.. 256K
Upstream Delay Sensitivity..... Tolerant
Downstream Delay Sensitivity.... Tolerant
Associated Interfaces
  BIDIRECTIONAL..... onu0/250
    Max Upstream Rate..... 800.256Mbps
    Max Downstream Rate..... 800.256Mbps
```

Obr.: 64 Kontrola nastavení OLT EtherSAM

Přiřazení QoS profilu na použité rozhraní

ADD QOSPOLICY=TEST INTERFACE= 2.0.0 BIDIRECTIONAL VLAN=100

Změna QoS profilu na měření RFC 2544 video (viz obr.: 26):

SET QOSPOLICY=test MAXUPSTREAMRATE=10M DOWNSTREAMRATE=10M
MINUPSTREAMRATE=4M MINDOWNSTREAMRATE=4M UPBURSTSIZE=256K

DOWNBURSTSIZE=256K DOWNPRIORITYBURSTSIZE=256K

UPDELAYSENSITIVITY=tolerant DOWNDELAYSENSITIVITY=tolerant

```
officer SEC>> sh qospolicy test

--- Qos Policy Data ---

Name..... test
Id..... 117
Description..... <none>
Max Upstream Rate..... 10Mbps
Max Downstream Rate..... 10Mbps
Min Upstream Rate..... 4Mbps
Min Downstream Rate..... 4Mbps
Upstream Burst Size..... 256K
Downstream Burst Size..... 256K
Downstream Priority Burst Size.. 256K
Upstream Delay Sensitivity..... Tolerant
Downstream Delay Sensitivity.... Tolerant
Associated Interfaces
  BIDIRECTIONAL..... onu0/250
```

Obr.: 65 Kontrola nastavení OLT VIDEO

Změna QoS profilu na měření RFC 2544 data (viz obr.: 27):

```
SET QOSPOLICY=test MAXUPSTREAMRATE=40M DOWNSTREAMRATE=40M
MINUPSTREAMRATE=30M MINDOWNSTREAMRATE=30M UPBURSTSIZE=256K
DOWNBURSTSIZE=256K DOWNPRIORITYBURSTSIZE=256K
UPDELAYSENSITIVITY=tolerant DOWNDELAYSENSITIVITY=tolerant
```

```
--- Qos Policy Data ---
Name..... test
Id..... 117
Description..... <none>
Max Upstream Rate..... 40Mbps
Max Downstream Rate..... 40Mbps
Min Upstream Rate..... 30Mbps
Min Downstream Rate..... 30Mbps
Upstream Burst Size..... 256K
Downstream Burst Size..... 256K
Downstream Priority Burst Size.. 256K
Upstream Delay Sensitivity..... Tolerant
Downstream Delay Sensitivity.... Tolerant
Associated Interfaces
  BIDIRECTIONAL..... onu0/250
```

Obr.: 66Kontrola nastavení OLT DAT

Změna QoS profilu na měření RFC 2544 voice (viz obr.: 28):

```
SET QOSPOLICY=test MAXUPSTREAMRATE=1M DOWNSTREAMRATE=M
MINUPSTREAMRATE=64KMINDOWNSTREAMRATE=64k UPBURSTSIZE=64K
DOWNBURSTSIZE=64K DOWNPRIORITYBURSTSIZE=64K
UPDELAYSENSITIVITY=sensitive DOWNDELAYSENSITIVITY=tolerant
```

```
pficer SEC>> show qospolicy test

--- Qos Policy Data ---
Name..... test
Id..... 117
Description..... <none>
Max Upstream Rate..... 1Mbps
Max Downstream Rate..... 1Mbps
Min Upstream Rate..... 64Kbps
Min Downstream Rate..... 64kbps
Upstream Burst Size..... 64K
Downstream Burst Size..... 64K
Downstream Priority Burst Size.. 64K
Upstream Delay Sensitivity..... Tolerant
Downstream Delay Sensitivity.... Tolerant
Associated Interfaces
  BIDIRECTIONAL..... onu0/250
    Min Upstream Rate..... 256kbps
    Min Downstream Rate..... 256kbps
```

Obr.: 67Kontrola nastavení OLT DATA

Pro uvedení pracoviště do původního stavu jsou potřeba následující příkazy:

DESTROY ONU ONU0

DESTROY QOSPOLICY TEST

DELETE VLAN VID 100 INTERFACE [2.0.0],[4.0]

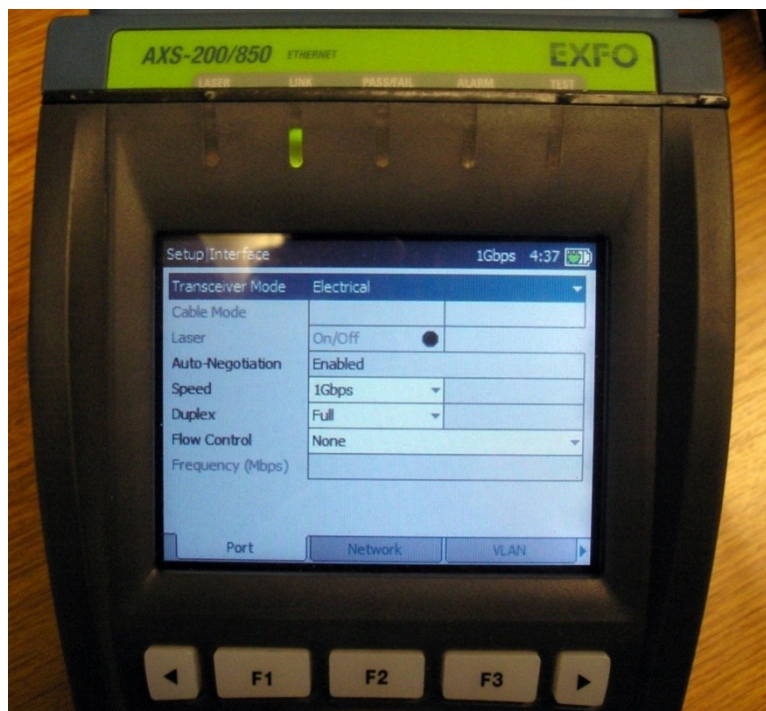
DESTROY VLAN 100

SET INTERFACE=2.0 EPON IPADDRESS=0.0.0.0

Nastavení měřicích přístrojů

EXFO AXS 200/850

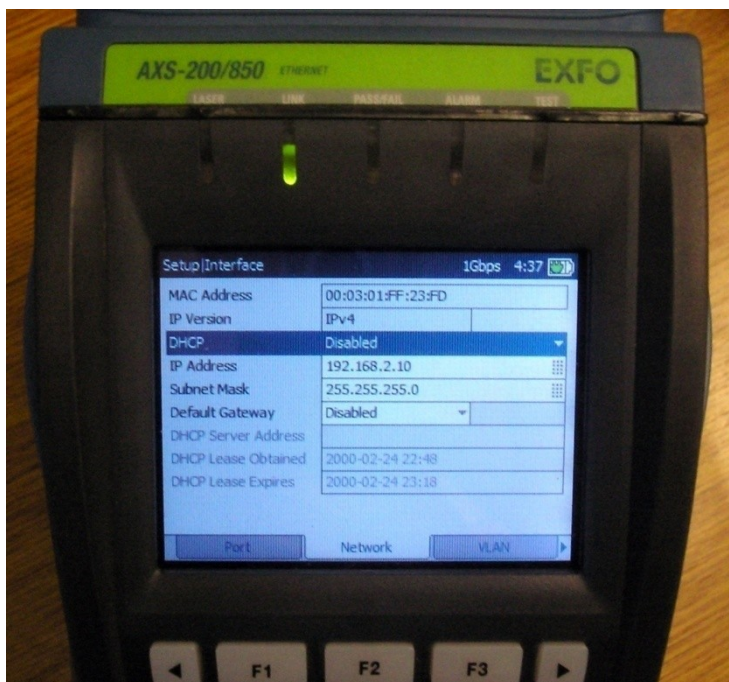
Nejdříve nastavíme měřicí přístroj EXFO AXS 200/850, který bude v módu Smart Loopback. V hlavním menu vybereme možnost **SETUP** a poté záložku **INTERFACE**, kde se pomocí klávesy F1 dostaneme na nastavení portu (viz obr.: 29).



Obr.: 68Nastavení EXFO AXS 200/850 č

.1

V dalším kroku stiskneme klávesu **F2** a nastavíme položku **NETWORK** (viz obr.: 30).



Obr.: 69 Nastavení EXFO AXS 200/850 č.1

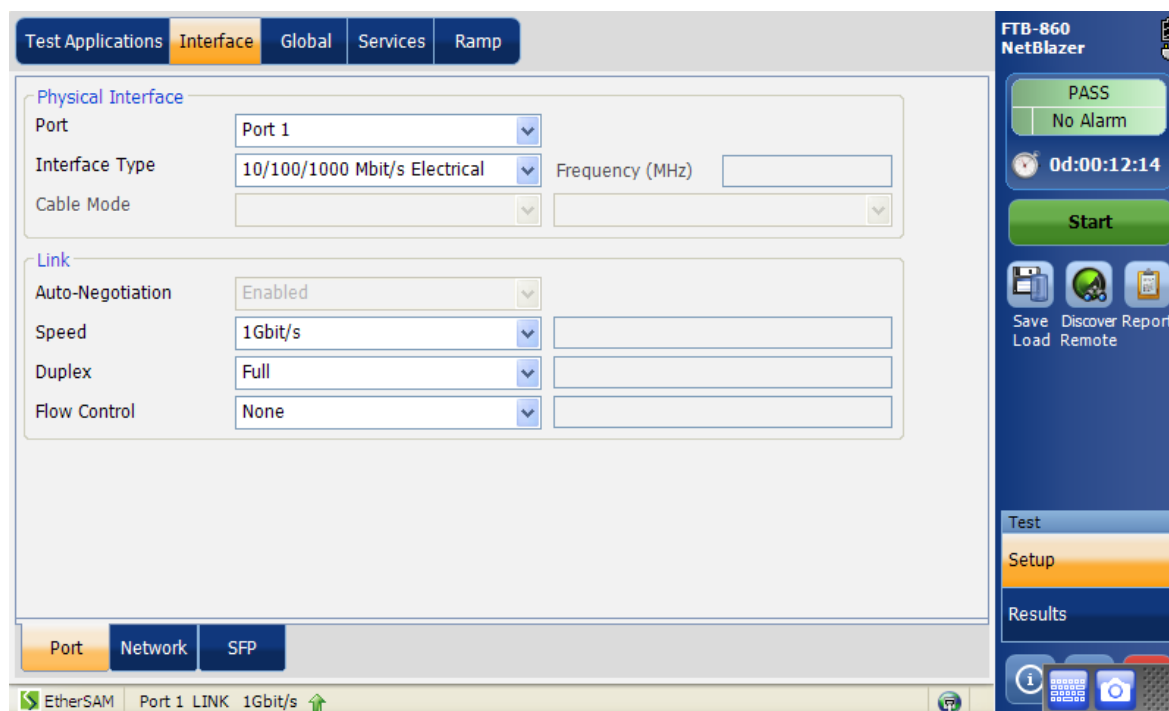
Poté se vrátíme zpět do hlavního menu a vybereme možnost **Smart Loopbacka** uvedeme měřicí přístroj do aktivního stavu stiskem klávesy **START**. Nyní je EXFO AXS 200/850 připraven přijímat a odesílat data.

EXFO FTB-1/860

Po zapnutí měřicího přístroje EXFO FTB-1/860 vybereme poklepáním na obrazovku ikonu **Netblazer**. Po spuštění aplikace vybereme možnost FTB-1/860, v tomto menu jsou jednotlivé druhy testů.

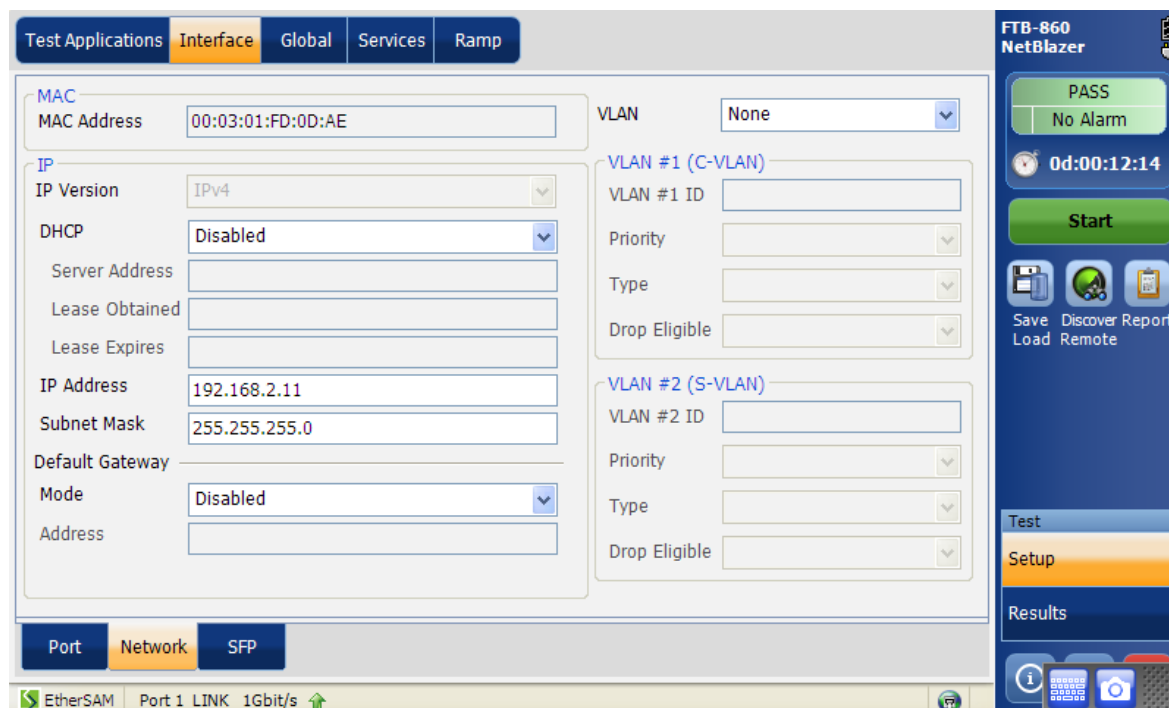
Pro měření EtherSAM bude následující postup:

V položce **INTERFACE** zvolíme nastavení, jako je na obrázku (viz obr.: 31).



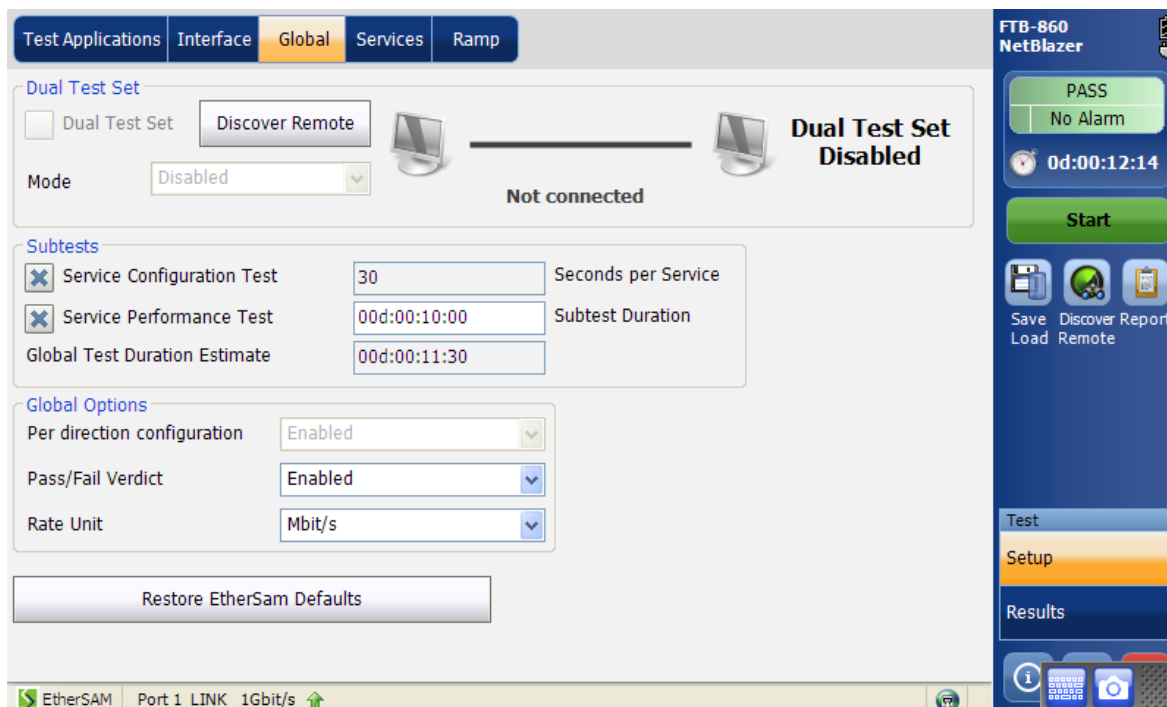
Obr.: 70 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 1

V kartě interface vybereme možnost **NETWORK** a nastavíme síťové hodnoty jako na obrázku (viz obr.: 32).



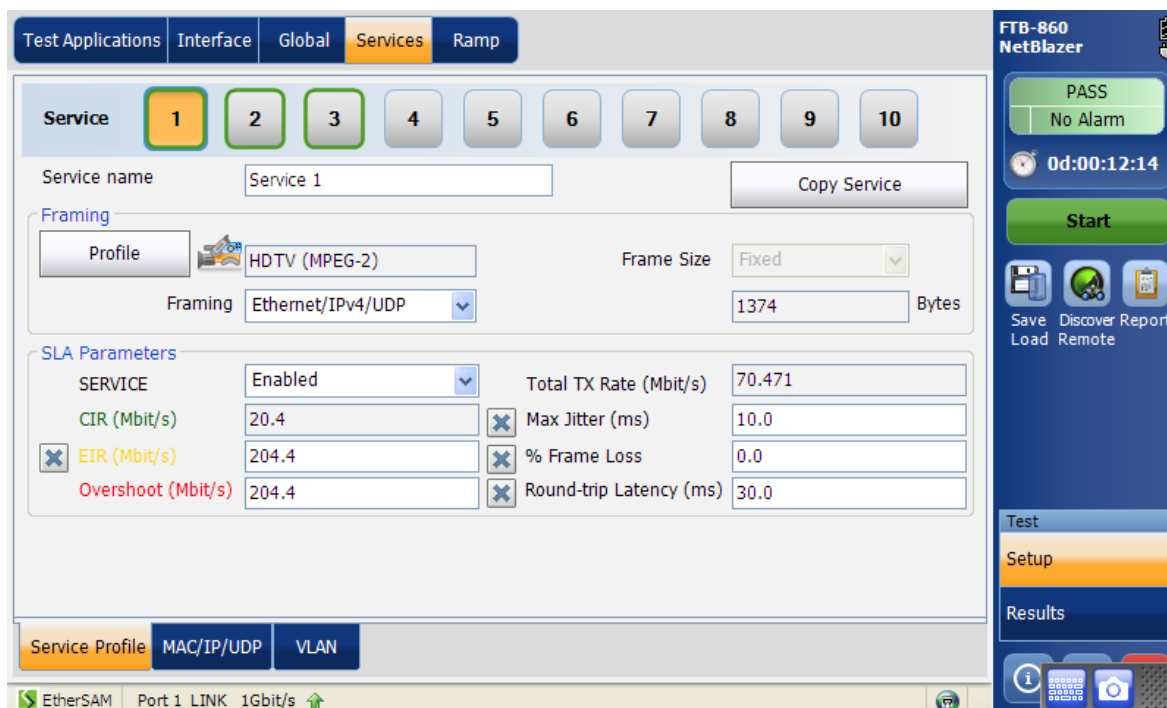
Obr.: 71 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 2

V kartě **GLOBAL** vybereme možnost **DiscoveryRemote**, kde vyhledáme LoopBack jednotku a přiřadíme ji do stavu **Looped UP**(viz obr.: 33).



Obr.: 72 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 3

Poté nastavíme v kartě **SERVICE** jednotlivé služby (viz obr.: 34).



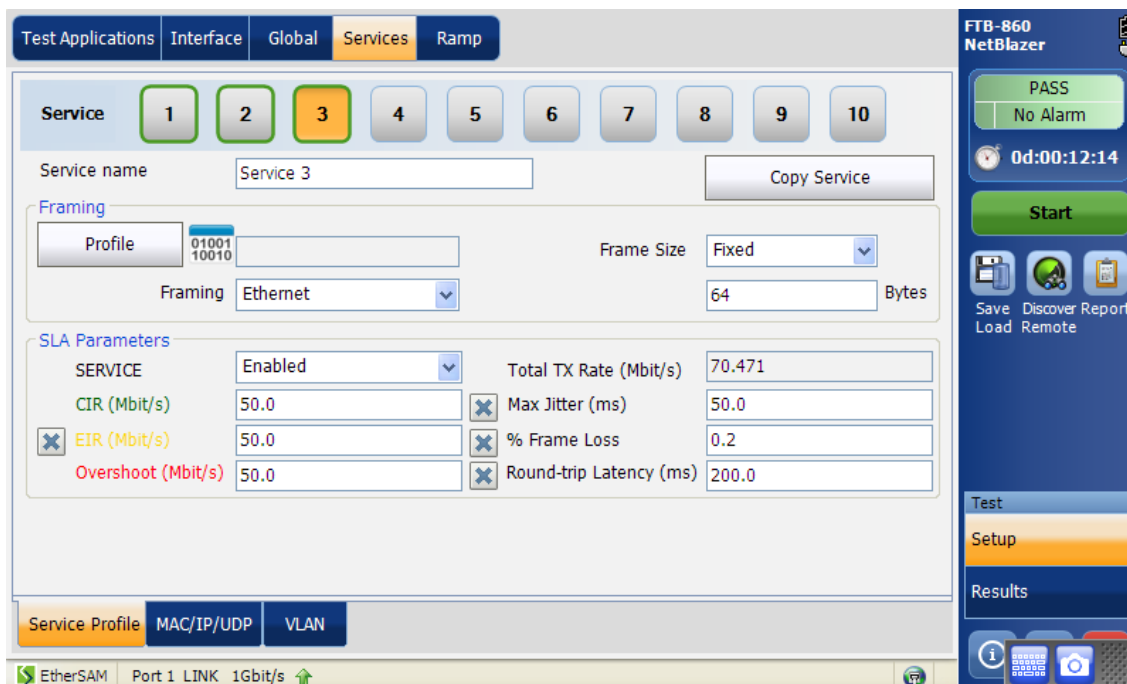
Obr.: 73 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 4

Service 2 pro VoIP nastavíme tak, jak je zobrazeno na obrázku (viz obr.: 35).



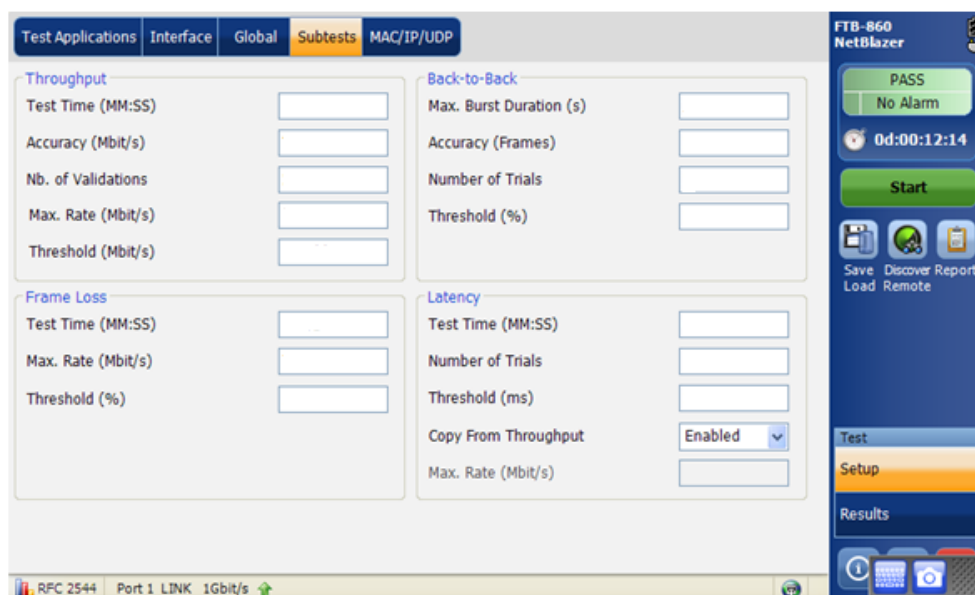
Obr.: 74 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 5

Service 3 pro data nastavíme podle obrázku (viz obr.: 36).



Obr.: 75 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 6

Při měření RFC 2544 ponecháme nastavené hodnoty z předchozího měření EtherSAM v kartě **INTERFACE**. Měníme pouze hodnoty v kartě **SUBTESTS** (viz obr.: 37).



Obr.: 76 Nastavení EXFO FTB-1/860 č. 7

Pro měření RFC 2544 s nakonfigurovanými hodnotami QoS pro DATA nastavíme hodnoty do karty **SUBTEST**z tabulky (viz Tab.: 2).

| Nastavení SUBTEST hodnot na měření RFC 2544 DATA | | | |
|---|-------|-----------------------|---------|
| Throughput | | Back-to-Back | |
| Test Time [MM:SS] | 00:01 | Max. BurstDuration[s] | 2 |
| Accurancy [Mbps] | 40 | Accurancy [Frames] | 1 |
| Nb. OfValidations | 1 | NumberofTrials | 1 |
| Max. Raite [Mbps] | 40 | Threshold [%] | 100 |
| Threshold [Mbps] | 40 | | |
| FrameLoss | | Latency | |
| Test Time [MM:SS] | 00:01 | Test Time [MM:SS] | 00:01 |
| Max. Raite [Mbps] | 40 | NumberofTrials | 1 |
| Threshold [Mbps] | 0.1 | Threshold [%] | 125 |
| | | Copy fromThrouhput | enabled |

Tab.: 9 Nastavení subtest na EXFO FTB-1/860 pro DATA

Pro měření RFC 2544 s nakonfigurovanými hodnotami QoS pro VIDEO nastavíme hodnoty do karty **SUBTEST**z tabulky (viz Tab.: 3).

| Nastavení SUBTEST hodnot na měření RFC 2544 VIDEO | | | |
|--|-------|-----------------------|---------|
| Throughput | | Back-to-Back | |
| Test Time [MM:SS] | 00:01 | Max. BurstDuration[s] | 2 |
| Accurancy [Mbps] | 10 | Accurancy [Frames] | 1 |
| Nb. OfValidations | 1 | NumberofTrials | 1 |
| Max. Raite [Mbps] | 10 | Threshold [%] | 100 |
| Threshold [Mbps] | 10 | | |
| FrameLoss | | Latency | |
| Test Time [MM:SS] | 00:01 | Test Time [MM:SS] | 00:01 |
| Max. Raite [Mbps] | 10 | NumberofTrials | 1 |
| Threshold [Mbps] | 0.1 | Threshold [%] | 125 |
| | | Copy fromThrouhput | enabled |

Tab.: 10 Nastavení subtest na EXFO FTB-1/86O pro VIDEO

Pro měření RFC 2544 s nakonfigurovanými hodnotami QoS pro VOICE nastavíme hodnoty do karty **SUBTEST**z tabulky (viz Tab.: 4).

| Nastavení SUBTEST hodnot na měření RFC 2544 VOICE | | | |
|--|-------|-----------------------|---------|
| Throughput | | Back-to-Back | |
| Test Time [MM:SS] | 00:01 | Max. BurstDuration[s] | 2 |
| Accurancy [Mbps] | 0.5 | Accurancy [Frames] | 1 |
| Nb. OfValidations | 1 | NumberofTrials | 1 |
| Max. Raite [Mbps] | 0,5 | Threshold [%] | 100 |
| Threshold [Mbps] | 0,5 | | |
| FrameLoss | | Latency | |
| Test Time [MM:SS] | 00:01 | Test Time [MM:SS] | 00:01 |
| Max. Raite [Mbps] | 0,5 | NumberofTrials | 1 |
| Threshold [Mbps] | 0.1 | Threshold [%] | 125 |
| | | Copy fromThrouhput | enabled |

Tab.: 11nastavení subtest na EXFO FTB-1/86O pro VOICE

Zadání měření

1. Propojte port 2.0 EPON do rozbočovače 1:16 vláknem dle normy ITU-T G.652 D se zakončením SC(PC) a SC (APC)
2. Propojte potřebná pracoviště v patch panelu s rozbočovačem vláknem dle normy ITU-T G.652 D se zakončením SC(PC) a SC (APC).
3. Propojte ONU jednotku s pracovištěm vláknem dle normy ITU-T G.652 D se zakončením SC(PC) a SC (APC).
4. Propojte metalickým Ethernet kabelem jednotku ONU a měřicí přístroj AXFO FTB-1/860 a propojte PORT 4.0 na OLT s měřicím přístrojem EXFO AXS200/850 metalickým Ethernet kabelem.
5. Nakonfigurujte OLT na měření EtherSAM
6. Nakonfigurujte měřicí přístroj AXS 200/850
7. Nakonfigurujte měřicí přístroj FTB-1/860 dle návodu na měření EtherSAM
8. Zahajte měření a výsledné hodnoty uložte na flash medium
9. Změna QoS profilu na měření RFC 2544 video
10. Nakonfigurujte měřicí přístroj FTB-1/860 dle návodu na měření RFC 2544 video
11. Zahajte měření a výsledné hodnoty uložte na flash medium
12. Změna QoS profilu na měření RFC 2544 data
13. Nakonfigurujte měřicí přístroj FTB-1/860 dle návodu na měření RFC 2544 data
14. Zahajte měření a výsledné hodnoty uložte na flash medium
15. Změna QoS profilu na měření RFC 2544 voice
16. Nakonfigurujte měřicí přístroj FTB-1/860 dle návodu na měření RFC 2544 voice
17. Zahajte měření a výsledné hodnoty uložte na flash medium
18. Uved'te nastavení měřicích přístrojů do původního stavu
19. Uved'te nastavení OLT do původního stavu

Vyhodnocení Měření

Měřicí přístroj FTB-1/860 sám vyhodnotí veškeré naměřené hodnoty. Jako výstup měření je pdf soubor s nastavenými parametry, neměřenými hodnotami a v případě měření RFC 2544 vyhotoví graficky zpracované naměřené hodnoty ve formě sloupcových grafů.

Měření EtherSAM

V první fázi měření, kde se ověřuje test konfigurace služeb, prošly úspěšně všechny tři služby. CIR parametr, který zavazuje rychlost a šířku pásma pro danou službu, byl nastaven u videa na 20 Mbps, u VoIP na 0,1 Mbps a u datové služby byl nastaven na 100 Mbps. Maximální kolísání, neboli jitter, je u Video na hodnotě 3,947 ms, u VoIP má hodnotu 3,726 ms a u testu datových služeb Data dosáhl hodnoty 0,521 ms. Všechny tyto hodnoty kolísání jsou v přijatelných mezích a zaručují výbornou kvalitu služeb. Nedošlo k žádné ztrátě rámců ani u jedné služby. Zpětné zpoždění má vyšší hodnoty, ale také spadá do přijatelných mezí, a nijak nám nebude ovlivňovat kvalitu přenosu. Maximální propustnost je u všech tří služeb, vzhledem k omezení EIR, taktéž na přijatelné hodnotě. Výsledný verdikt je tedy vyhovující pro všechny tři služby. Výsledné hodnoty testu jsou v tabulce (viz Tab.: 5).

| Test konfigurace služeb | | | |
|-------------------------|------------|------------|------------|
| Test | Video | VoIP | Data |
| CIR | 20,4 | 0,1 | 100,0 |
| Max kolísání [ms] | 3,947 | 3,726 | 0,521 |
| Ztráta rámců [%] | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Zpáteční zpoždění [ms] | 4,547 | 4,327 | 0,970 |
| Max propustnost [MbPS] | 204,448 | 1,264 | 100,002 |
| SLA Verdikt | vyhovující | vyhovující | vyhovující |

Tab.: 12 Výsledné hodnoty testu konfigurace služeb EtherSAM

Test výkonu služeb naměřil průměrnou propustnost dat u Video 20,444 Mbps, u VoIP 0.126 Mbps a u testu datových služeb Data 100 Mbps, což jsou vzhledem k nastaveným CIR vyhovující hodnoty. Maximální kolísání je také u všech tří služeb na přijatelných hodnotách. Zaručují výbornou kvalitu služeb. Při měření nebyly ztraceny žádné rámce. U testu zpoždění byla naměřena větší hodnota u služby Video. Toto zpoždění je nejspíše způsobeno použitím MPEG-2 kodeku, který vykazuje větší zpoždění při streamu. Ostatní hodnoty zpoždění byly v přijatelných mezích, zaručují tedy

bezproblémový provoz služeb. V celkovém verdiktu prošly všechny služby. Celkové zhodnocení služeb je v tabulce (viz Tab.: 6).

| Test výkonu služeb | | | |
|--------------------------|------------|------------|------------|
| Test | Video | VoIP | Data |
| Prům. Propustnost [Mbps] | 20,444 | 0,126 | 100,000 |
| Maximální Kolísání [ms] | 0,477 | 0,287 | 0,591 |
| Ztrátarámců [%] | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Zpáteční Zpoždění [ms] | 0,972 | 0,723 | 0,972 |
| Verdikt služby | vyhovující | vyhovující | vyhovující |

Tab.: 13 Výsledné hodnoty testu výkonu služeb EtherSAM

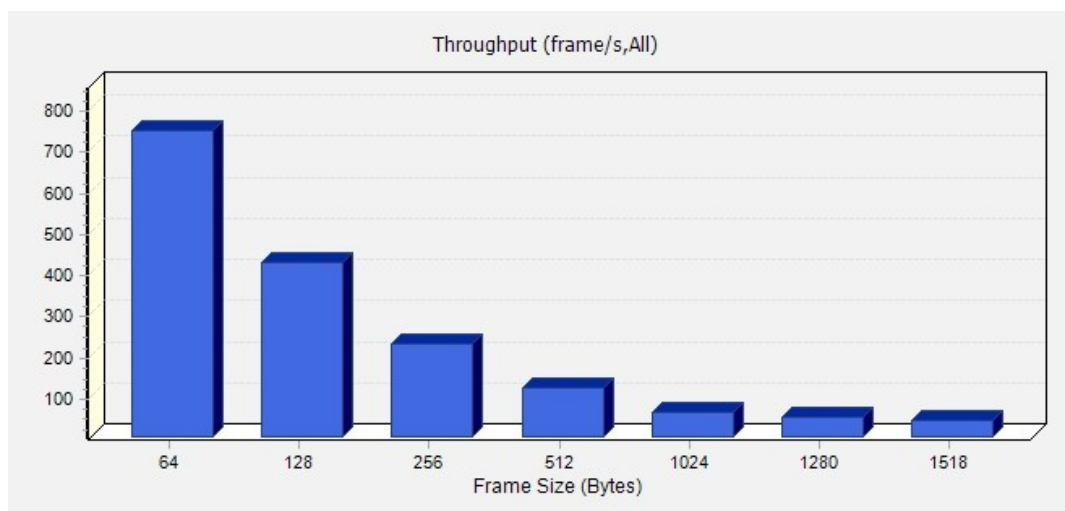
Měření RFC 2544

Měřicí přístroj EXFO FTB-1/860 generuje datové rámce o velikosti 64 b, 128 b, 256 b, 512 b, 1024 b, 1280 b a 1518 b. Těmito rámci testuje propustnosti (Troughput), zatížitelnosti (Back to back), ztrátovosti (Frameloss) a zpoždění (latency).

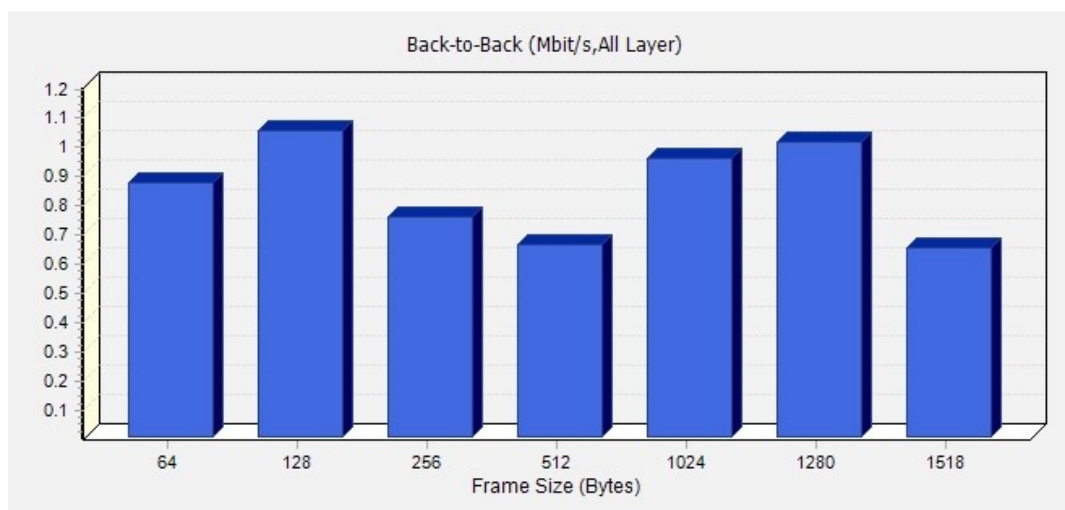
Při nastavení QoS parametrů na přenos VoIP byla propustnost v přijatelných hodnotách a celkový verdikt je vyhovující. Nebyly ztraceny žádné rámce, což značí dobrou konektivitu. Naměřená zpoždění byla vyhovující i přes celkově nízký nastavený práh threshold. Nevyhovující zpoždění bylo více jak 300 ms. Test zatížitelnosti vyšel jako nevyhovující- Bylo to způsobeno tím, že naměřené hodnoty u rámců o velikosti 128 b a 1280 b měly vysoké hodnoty a spadaly již do mezí EIR, kde není garantovaná služba. Grafické vyhodnocení propustnosti je na obrázku (viz obr.: 37), zatížitelnost (viz obr.: 38), ztráta rámců viz obr.: 39, a graf maximálního zpoždění je na obrázku viz obr.: 40). Malé množství přijatých rámců je způsobeno nastavenými hodnotami Qos profilu, ve kterém měla největší rychlost dosahovat maximálně 1Mbps a garantovaná přenosová rychlost by měla být 64 Kbps s délkou burstu 64 Kb. Při měření propustnosti byla stanovena maximální rychlost 50 Kbps, stejně jako u testu ztráty rámců.

| RFC 2544 VoIP | | | | | | | |
|---------------------------|------------|----------------------|-----------------|-------------------|------------|--------------------|------------|
| Propustnost [rámece/s] | | Zatížitelnost [Mbps] | | Ztráta rámců [%] | | Max. zpoždění [ms] | |
| Velikost rámce | Rámců/s | Velikost rámce | rychlost [Mbps] | Velikost rámce | [%] | Velikost rámce | čas [ms] |
| 64 | 744 | 64 | 0.870 | 64 | 0 | 64 | 2.93632 |
| 128 | 422 | 128 | 1.046 | 128 | 0 | 128 | 0.34707 |
| 256 | 226 | 256 | 0.751 | 256 | 0 | 256 | 2.57582 |
| 512 | 117 | 512 | 0.657 | 512 | 0 | 512 | 2.22392 |
| 1024 | 60 | 1024 | 0.952 | 1024 | 0 | 1024 | 0.68359 |
| 1280 | 48 | 1280 | 1.008 | 1280 | 0 | 1280 | 4.207 |
| 1518 | 41 | 1518 | 0.645 | 1518 | 0 | 1518 | 2.08061 |
| Verdikt | vyhovující | Verdikt | Nevhovující | Verdikt | vyhovující | Verdikt | vyhovující |

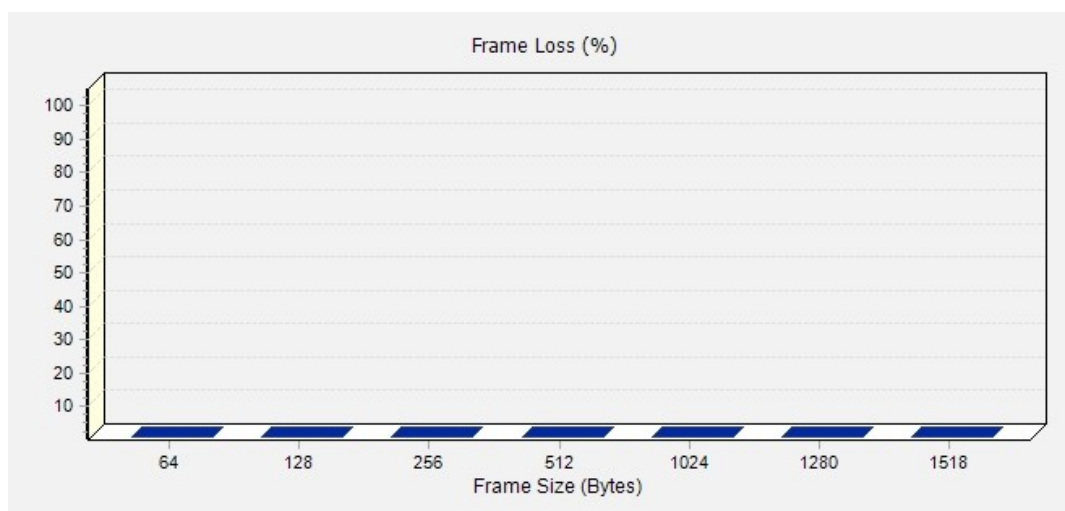
Tab.: 14: Naměřené hodnoty RFC 2544 VoIP



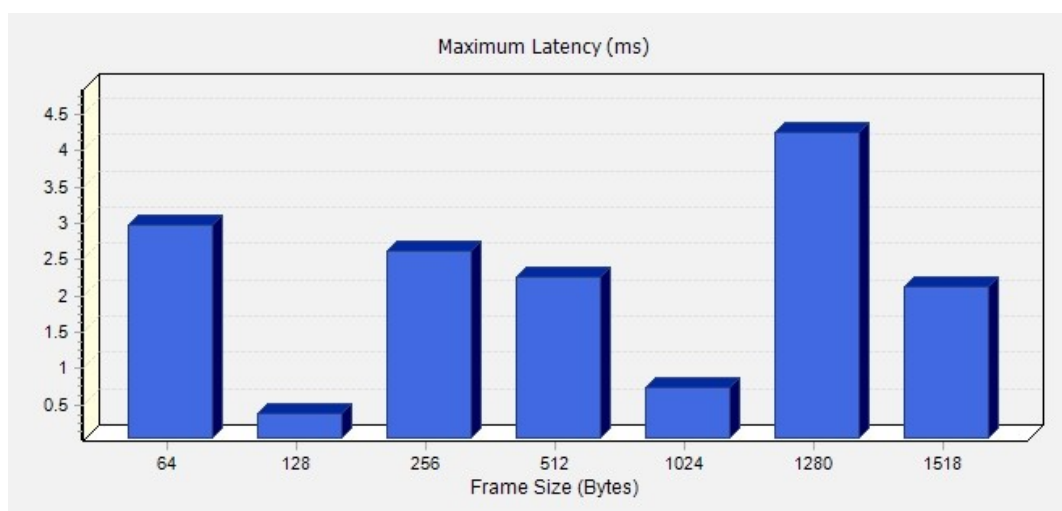
Obr.: 77Propustnost VoIP



Obr.: 78 Zátížitelnost VoIP



Obr.: 79 Ztráta rámců VoIP

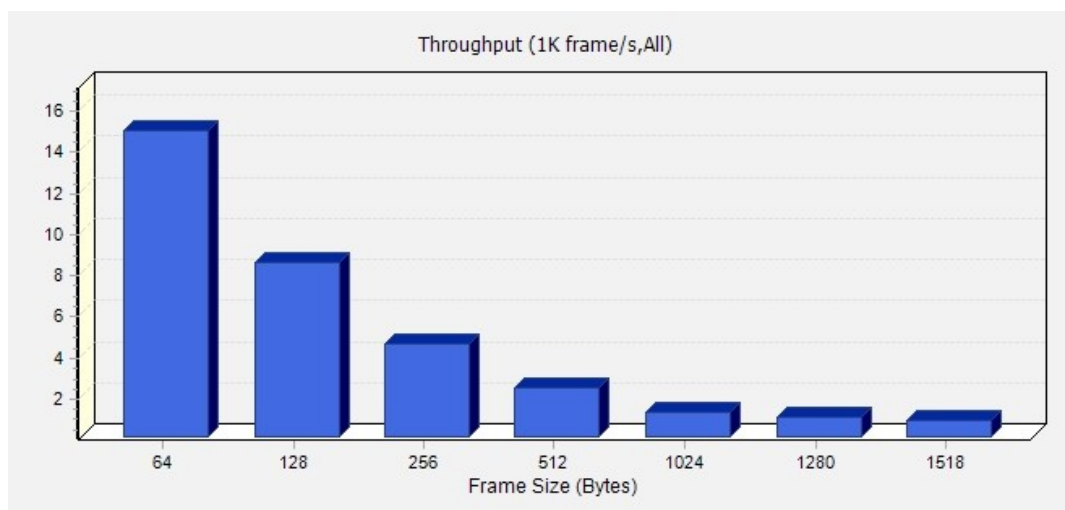


Obr.: 80: Maximální zpoždění VoIP

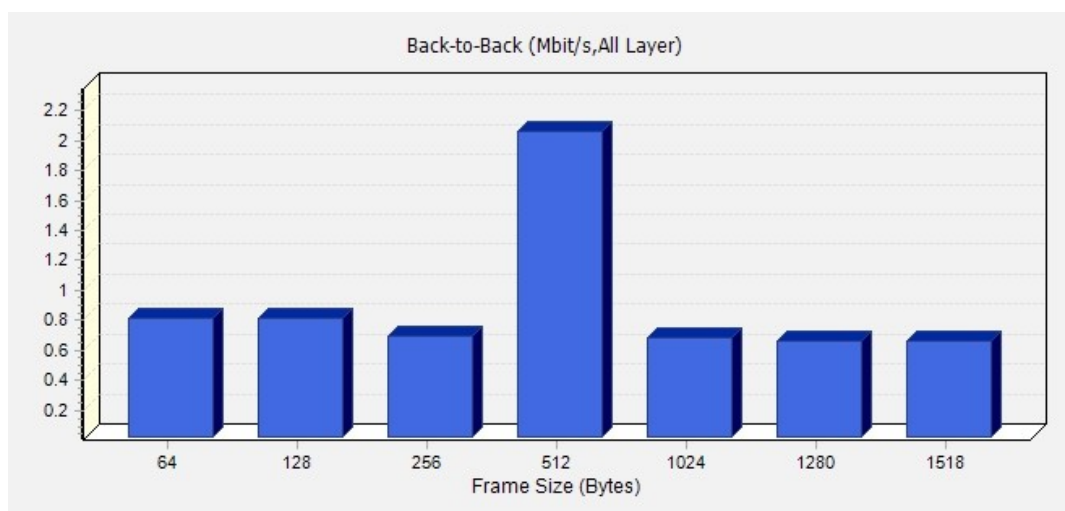
Při nastavení QoS parametrů optimalizovaného na přenos Video byl patrný větší provoz na trase. Na OLT byla nastavena maximální rychlost 10 Mbps a minimální garantovaná rychlost 4 Mbps s burstem 256 Kb. Na měřicím přístroji byla při testu propustnosti nastavena maximální rychlost a ztráty rámců na 10 Mbps. Ztráta rámců (viz obr.: 43), nebyla žádná a test propustnosti (viz obr.: 41), výsledným verdiktem prošel. Je vyhovující poskytovat při stávajícím nastavení kvalitní distribuci video služby, protože potřebné přenosové pásmo pro HDTV je v rozmezí 4 až 8 Mbps. Zpoždění (viz obr.: 44) na testované síti by nemělo vliv na kvalitu služby, protože je v přijatelných mezích i přes značný nárůst zpoždění při velikosti rámce 1518. Test zatížitelnosti (viz obr.: 42), neprošel konečným verdiktem a je vyhodnocený jako nevyhovující. Je to způsobeno tím, že při testování propustnosti s velikostí rámce 512 b byla překročena hodnota CIR a došlo k zahlcení sítě. V tabulce (viz tab.:8) jsou naměřené hodnoty se závěrečným verdiktem.

| RFC 2544 VIDEO | | | | | | | |
|---------------------------|------------|----------------------|-----------------|-------------------|------------|--------------------|------------|
| Propustnost [rámece/s] | | Zatížitelnost [Mbps] | | Ztráta rámců [%] | | Max. zpoždění [ms] | |
| Velikost rámce | Rámce/s | Velikost rámce | rychlost [Mbps] | Velikost rámce | [%] | Velikost rámce | čas [ms] |
| 64 | 14881 | 64 | 0,789 | 64 | 0 | 64 | 0,38848 |
| 128 | 8446 | 128 | 0,793 | 128 | 0 | 128 | 0,5071 |
| 256 | 4529 | 256 | 0,677 | 256 | 0 | 256 | 0,42397 |
| 512 | 2350 | 512 | 2,038 | 512 | 0 | 512 | 1,36744 |
| 1024 | 1197 | 1024 | 0,659 | 1024 | 0 | 1024 | 1,44496 |
| 1280 | 962 | 1280 | 0,644 | 1280 | 0 | 1280 | 1,26759 |
| 1518 | 813 | 1518 | 0,639 | 1518 | 0 | 1518 | 4,19594 |
| Verdikt | vyhovující | Verdikt | Nevyhovující | Verdikt | vyhovující | Verdikt | vyhovující |

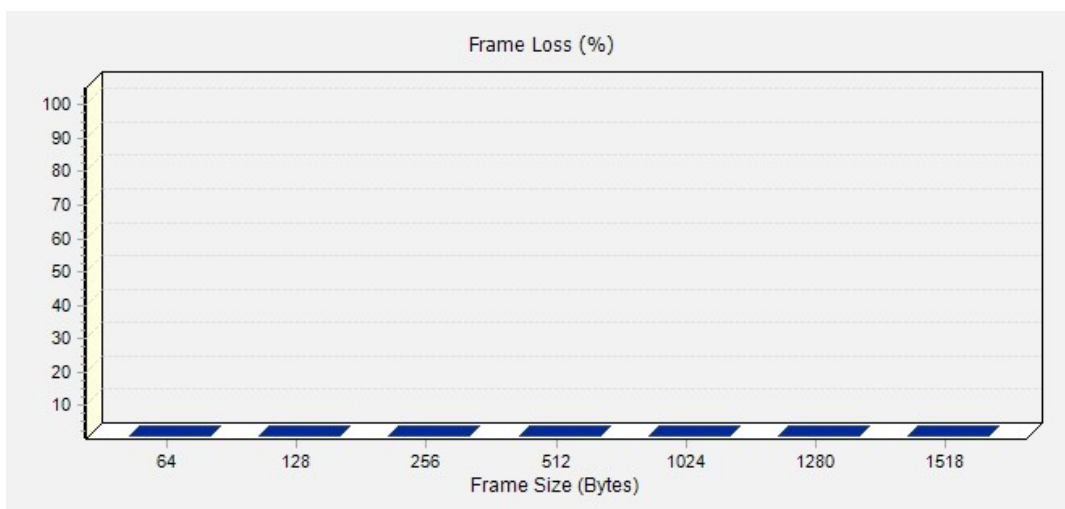
Tab.: 15 Naměřené hodnoty RFC 2544 VIDEO



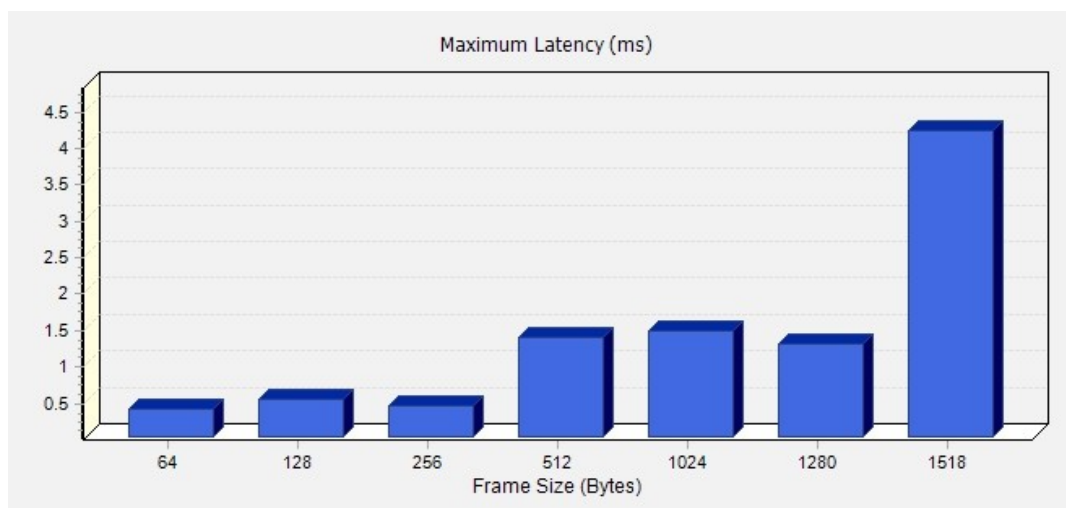
Obr.: 81Propustnost VIDEO



Obr.: 82Zatížitelnost VIDEO



Obr.: 83Ztráta rámců VoIP

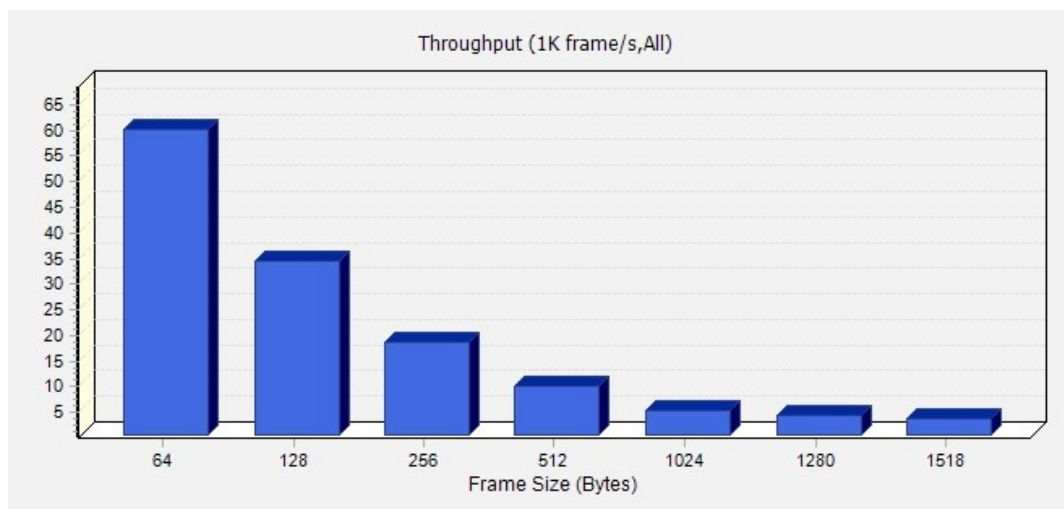


Obr.: 84: Maximální zpoždění VIDEO

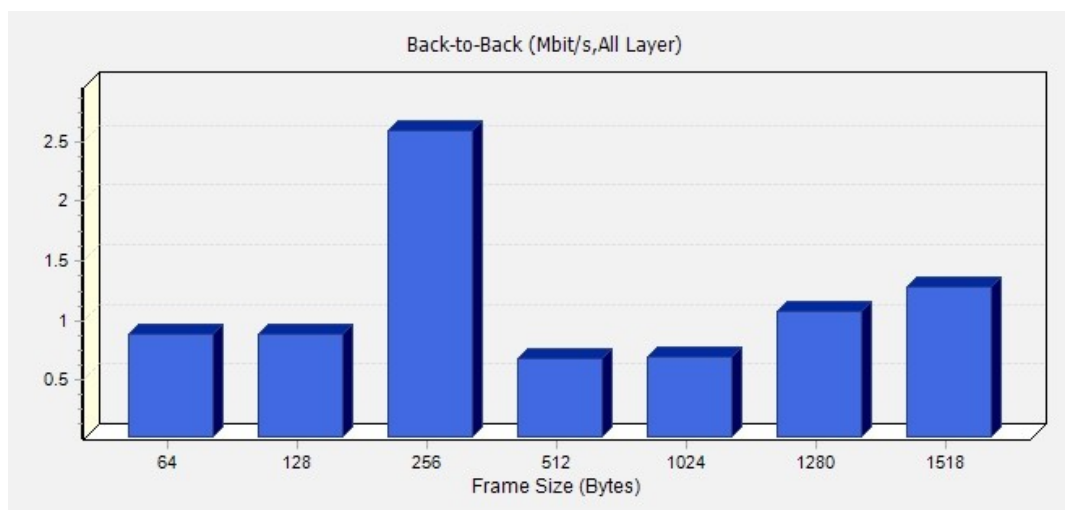
Poslední měření metodou RFC 2544 je test integrity GePON pro přenos dat. Nejvyšší přenosová rychlost na OLT je omezena na 40 Mbps a nejnižší garantovaná rychlost je nastavena na hodnotu 30 Mbps s burstem 256 Kb. Stejně jako v předchozím měření, tak i v této sérii testů je patrný nárůst provozu. Je to způsobeno tím, že je pro tuto službu vyhrazena větší přenosová kapacita traktu. Maximální rychlost a práh při testu propustnosti je stanovený na 40 Mbps a tento test v konečném verdiktu prošel jako vyhovující. Obrázek (viz obr.: 45), znázorňuje graficky vyhotovený výsledek naměřeného testu propustnosti. Při testu zatížitelnosti (viz obr.: 46) došlo k značnému zahlcení sítě při velikosti rámce 256 b. K zahlcení také došlo při velikostech rámců 1280 b a 1518 b. To znamená, že hodnoty překročily CIR, což je garantované pásmo a může dojít k zahlcení sítě a výpadku služby. Ztráta rámců byla nulová, grafické vyhotovení výsledků je na obrázku (viz obr.: 47). Test maximálního zpoždění poukázal na značný nárůst při velikosti rámce 1518 b, který je markantní oproti ostatním testovaným velikostem rámců. Tento nárůst je patrný na Obrázku (viz obr.: 48). I přes toto zpoždění prošel test jako vyhovující, protože je v přijatelných mezích zpoždění. Výsledné hodnoty s konečným verdiktem jsou v tabulce (viz tab.: 9).

| RFC 2544 DATA | | | | | | | |
|---------------------------|------------|----------------------|-----------------|-------------------|------------|--------------------|------------|
| Propustnost [rámece/s] | | Zatížitelnost [Mbps] | | Ztráta rámců [%] | | Max. zpoždění [ms] | |
| Velikost rámce | Rámců/s | Velikost rámce | Rychlost [Mbps] | Velikost rámce | [%] | Velikost rámce | čas [ms] |
| 64 | 59524 | 64 | 0,863 | 64 | 0 | 64 | 0,42562 |
| 128 | 33784 | 128 | 0,854 | 128 | 0 | 128 | 0,40515 |
| 256 | 18116 | 256 | 2,563 | 256 | 0 | 256 | 0,4287 |
| 512 | 9398 | 512 | 0,661 | 512 | 0 | 512 | 0,50257 |
| 1024 | 4789 | 1024 | 0,672 | 1024 | 0 | 1024 | 0,45473 |
| 1280 | 3846 | 1280 | 1,050 | 1280 | 0 | 1280 | 0,49908 |
| 1518 | 3251 | 1518 | 1,248 | 1518 | 0 | 1518 | 3,83719 |
| Verdikt | vyhovující | Verdikt | Nevhovující | Verdikt | vyhovující | Verdikt | vyhovující |

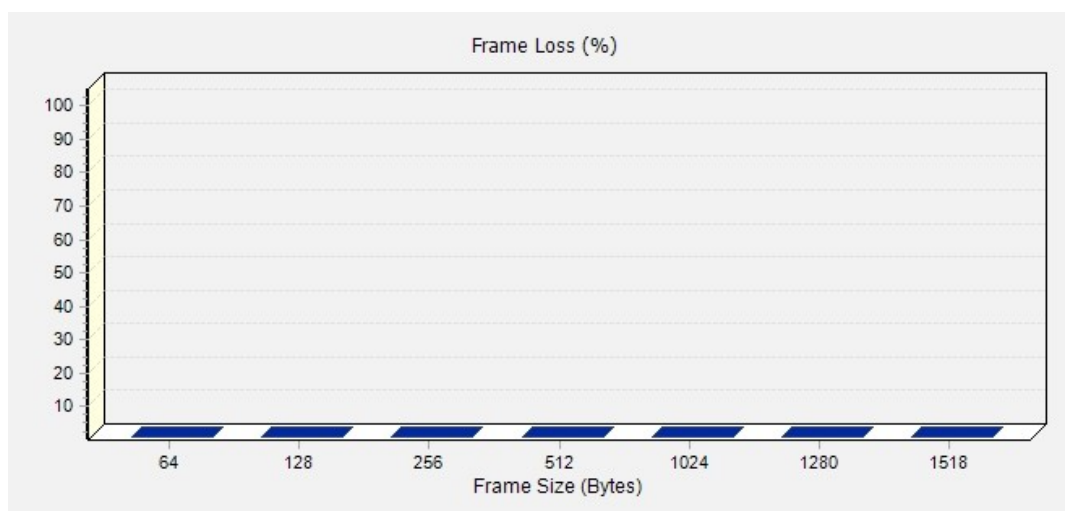
Tab. 9: Naměřené hodnoty RFC 2544 DATA



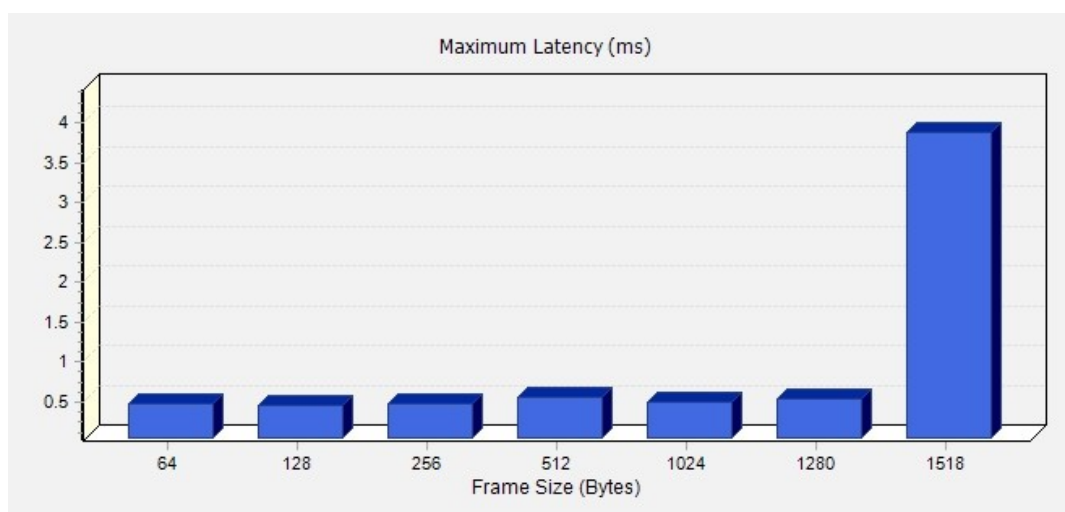
Obr.: 85Propustnost DATA



Obr.: 86Zatížitelnost DATA



Obr.: 87Ztráta rámců DATA



Obr.: 88Maximální zpoždění DATA

Zhodnocení a závěr

Měření metodou RFC 2544 a metodou EtherSAM prokázalo, že testovaná síť je schopna integrity služeb triple play s dostatečnou přenosovou kapacitou pro bezchybný provoz.

Při měření EtherSAM nedošlo k žádnému chybovému hlášení a síť prokázala dostatečnou propustnost, zatížitelnost a zpoždění při nulové rámcové ztrátě. Výsledné hodnoty byly také ovlivněny zvolenou hodnotou EIR, která byla stejná jako maximální rychlost na měřeném traktu a nakonfigurovaným QoS profilem. Měření metodou EtherSAM také ukázalo přednosti této metody. Je rychlejší než RFC 2544 a umožňuje kompletní ověření všech SLA parametrů v jediném testu, aby zajistil optimální QoS. EtherSAM může simulovat všechny typy služeb, které poběží na síti, a současně kvalifikovat všechny klíčové parametry SLA pro každou z těchto služeb.

Naměřené hodnoty propustnosti a zpoždění u všech tří měření potvrdily, že síť a nakonfigurované QoS profily jsou schopny distribuovat služby triple play v dostatečné kvalitě. Zatížitelnost u všech tří testů byla vyhodnocena jako nevyhovující. Tuto skutečnost způsobil také vysoký práh threshold, který kladl na síť velké nároky a byl nastaven na 100 %. Metoda RFC 2544 se ukázala být značně zdlouhavá, protože každé měření trvalo minimálně 22 minut a každá ze služeb potřebovala vlastní konfiguraci OLT a měřicího přístroje.

Použitá literatura

- [1] Optické přístupové sítě. SCHLITTER, P. ACCESS SERVER. *Access server* [online]. Praha, 2004 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072807>
- [2], LAM, Cedric F. *Passive optical networks: principles and practice*. Boston: Elsevier/Academic Press, c2007, 324 s. ISBN 01-237-3853-9.
- [3] Pasivní optické sítě s rychlostí 10 Gbit/s. LAFATA, P. ACCESS SERVER. *Access server* [online]. Praha, 2011, 10. 03. 2011 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/rservice.php?akce=tisk&cisloclanku=2011030001>
- [4] LAFATA, Pavel a Jiří VODRÁŽKA. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. *Současné a budoucí varianty pasivních optických přístupových sítí*. Praha, 2009. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/file.php?id=200000336-43127440c6>
- [5], LAFATA, Pavel. Pasivní optická přístupová síť EPON. Access Server [online]. 23. 05. 2009, č.8, [cit. 2010-12-17]. Dostupný z WWW: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050003>.
- [6], CESNET [online]. c2010 [cit. 2010-12-17]. VoIP - přenos hlasu. Dostupné z WWW: <http://www.cesnet.cz/iptelefonie/voip-principy.html>.
- [7], POTROK, Peter. PROFIBER NETWORKING. *EtherSAM: jak jít po kvalitě služeb Triple Play*. 2011. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/B4_Hladky_Potrok_EtherSAM_jak_jit_po_kvalite_sluzeb_TriplePlay.pdf
- [8], EXFO. EtherSAM: THE NEW STANDARD IN ETHERNET SERVICE TESTING. canada, 2011. Dostupné z: <http://documents.exfo.com/appnotes/anote230-ang.pdf>